

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**PROPOSTA CONCEITUAL DE UM MODELO DE LOCALIZAÇÃO DE
ESTABELECIMENTOS DE ENSINO**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção
do título de *Mestre em Engenharia Civil*

Karin Cristina dos Santos

Orientador
Carlos Loch, Dr.

Florianópolis, SC

2005

Dedicatória

A todos que de alguma
maneira puderem se beneficiar
deste trabalho.

Agradecimentos

Aos meus pais, **Carmelino** e **Mafalda**, pelas oportunidades que me possibilitaram chegar até aqui, pelo amor e apoio incondicionais. À minha mãe, em especial, por ter me participado durante anos a realidade do ensino público brasileiro, e cuja conduta me motivou a lutar pela melhora desse quadro.

À minha irmã **Ana** pela paciência, pela colaboração e pelas sugestões sempre bem vindas.

Ao professor **Carlos Loch** por ter me recebido no Laboratório de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, pelo incentivo e orientação.

Ao **Edson Cattoni** por ter acreditado no meu potencial e por ter apostado no meu desenvolvimento acadêmico e profissional. Obrigada por ter me apresentado o “campo de infinitas possibilidades” que nos cerca, e por ter me feito ver a cidade com outros olhos...

Ao **Renato Saboya** pelas sugestões sempre bem colocadas e pelas “famosas perguntas” que me fizeram refletir e sair em busca de respostas.

A **Fernanda Simoni**, a **Eugenia Karnaukhova** e ao **Stavros Abib** pelos inúmeros “minutinhos” que dedicaram a mim e ao meu trabalho e pelo incentivo.

A **todos os amigos** que mesmo indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, pelo simples fato de serem amigos.

Resumo

Este trabalho propõe a estruturação de um modelo configuracional de localização de estabelecimentos de ensino visando a sua implementação futura em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) para compor um Sistema Espacial de Suporte à Decisão (SDSS). Parte-se do princípio que a localização de escolas na estrutura urbana é influenciada por três fatores: demanda pelo serviço, capacidade de atendimento da rede escolar e elementos e fenômenos urbanos que ocorrem nos espaços públicos das cidades. O modelo proposto coloca a necessidade da utilização de uma metodologia multicritério de apoio à decisão (MCDA) para determinar quais elementos e fenômenos urbanos serão incorporados por ele e qual a forma de avaliá-los tomando por base os interesses e necessidades de pessoas que de alguma maneira estão envolvidas com a questão locacional para cada aplicação. Com base nas relações espaciais que se estabelecem entre a demanda, os estabelecimentos de ensino existentes e os espaços públicos, o modelo busca identificar os espaços que apresentam o maior potencial para abrigar uma nova unidade escolar. O potencial é determinado em relação a um raio de abrangência e será tanto maior quanto maior for a concentração de demanda nos espaços pertencentes a esse raio e quanto menor for a quantidade de elementos e fenômenos urbanos contidos nele que possuem uma relação desarmônica com os estabelecimentos de ensino.

Palavras-chave: modelos de localização, estabelecimentos de ensino, Sistemas Espaciais de Suporte à Decisão (SDSSs), metodologias multicritério de apoio à decisão (MCDA).

Abstract

The present work develops a configurational location model aiming at its future integration with a Geographic Information System (SIG) to compose a Spatial Decision Support System (SDSS). It is assumed that the localization of schools in the urban structure is influenced by three factors: the demand for the service, the capacity of attendance of the school net and the urban elements and phenomena that occur in the open spaces of the cities. The use of a Multicriteria Decision Aid (MCDA) methodology is necessary for establishing which of the urban elements and phenomena will be incorporated by the model and how they will be evaluated, depending on the interests and goals of the decisionmakers. Based on the spatial relations set between the demand, the existing schools and the public spaces, the model attempts to find the locations with optimal conditions for the installation of new schools. The potential of which location is determined regarding a range ray. In a given ray, the bigger is the demand concentration and the fewer harmful urban elements and phenomena there are, the greater the potential is.

Keywords: location model, schools, Spatial Decision Support System (SDSS), Multicriteria Decision Aid (MCDA) Methodology.

Lista de figuras

Figura 2.1 – Raio de abrangência teórico.	40
Figura 2.2 – Raio de abrangência aproximado.....	42
Figura 2.3 - Base de dados de referência - trechos de logradouro.	43
Figura 2.4 – Raio de abrangência real.	44
Figura 3.1 – Formas de acessibilidade.....	54
Figura 3.2 – Grafo de espaços públicos e edificações.....	57
Figura 3.3 – Formas de representação dos espaços públicos abertos.	62
Figura 3.4 – Formas de representação do sistema urbano.....	62
Figura 4.1 - Vinculação dos elementos espaciais às tabelas de dados alfanuméricos em um SIG.	85
Figura 4.2 – Formas de representação do mundo real disponíveis em um SIG.....	86
Figura 4.3 - Representação raster de dados espaciais.	87
Figura 4.4 – Representação vector de dados espaciais.....	88
Figura 4.5 – Estrutura geral de um SDSS e principais operações	99
Figura 5.1 – Esquema geral da metodologia de estruturação do modelo de localização de estabelecimentos de ensino.	128
Figura 5.2 – Integração entre SIG e ferramentas analíticas por vinculação fraca. ...	131
Figura 5.3 – Integração entre SIG e ferramentas analíticas por vinculação forte....	132
Figura 5.4 – Operações básicas do SIG necessárias ao funcionamento do modelo.	133
Figura 5.5 – Cálculo da distância entre dois pontos utilizando zonas como unidades de análise.....	138

Figura 5.6 - Cálculo da distância entre dois pontos utilizando trechos de logradouro como unidades de análise.....	139
Figura 5.7 – Fases do processo de apoio à decisão segundo a metodologia MCDA.	148
Figura 5.8 – Principais componentes de um mapa cognitivo.	152
Figura 5.9 – Exemplos de descritores.	154
Figura 5.10 – Fluxograma para gerar descritores construídos.	156
Figura 5.11 – Método da comparação par-a-par.	161
Figura 5.12 – Análise de sensibilidade à variação das taxas de substituição – software HIVIEW.....	163
Figura 5.13 – Diferentes formas de representação do sistema urbano: a) Aerofoto; b) Restituição Aerofotogramétrica; c) Trechos de logradouro; d) Grafos.	164
Figura 5.14 – Representação espacial da demanda no modelo.	165
Figura 5.15 – Representação espacial dos estabelecimentos de ensino no modelo.	166
Figura 5.16 – Grafo dos espaços públicos, demanda e estabelecimentos de ensino.	167
Figura 6.1 – Determinação das relações espaciais do sistema.....	177
Figura 6.2 - Determinação da cobertura da rede de estabelecimentos de ensino existente.....	178
Figura 6.3 - Determinação da tensão existente entre os espaços.....	179
Figura 6.4 - Determinação do raio de abrangência teórico dos espaços.	180
Figura 6.5 – Determinação da demanda educacional excedente.....	182

Lista de tabelas

Tabela 1 – Taxas de escolarização e atendimento.	38
---	----

Lista de quadros

Quadro 4.1 – Funções dos componentes de um Sistema Espacial de Suporte à Decisão.	98
Quadro 4.2 – Função dos atores no processo decisório.	123
Quadro 5.1 – Operações espaciais básicas realizadas por Sistemas de Informações Geográficas.	135

Lista de siglas

BUF – Built Unit Form (Unidade de Forma Construída).

CAD – Computer-Aided Design.

CTM – Cadastro Técnico Multifinalitário.

DBMS – Data Base Management System (Sistema Gerenciador de Base de Dados).

DGMS - Dialog Generation and Management System (Sistema Gerador e Gerenciador de Diálogo).

DSS - Decision Support Systems (Sistema de Suporte à Decisão).

EPA – Elemento Primário de Avaliação.

MBMS - Model Base Management System (Sistema Gerenciador de Base de Modelos).

MCDA – Multicriteria Decision Aid.

PSS – Planning Support Systems (Sistemas de Suporte ao Planejamento).

PVE – Ponto de Vista Elementar.

PVF – Ponto de Vista Fundamental.

SDSS – Spatial Decision Support Systems (Sistema Espacial de Suporte à Decisão).

SIG – Sistemas de Informações Geográficas.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	16
1.2 OBJETIVOS	19
1.2.1 <i>Objetivo Geral</i>	19
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	20
1.3 JUSTIFICATIVA	20
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	24
2 QUESTÕES EDUCACIONAIS RELACIONADAS COM A LOCALIZAÇÃO DE ESTABELECIMENTOS DE ENSINO.....	26
2.1 PLANEJAMENTO EDUCACIONAL	26
2.1.1 <i>Objetivos do planejamento educacional</i>	26
2.1.2 <i>Limitações do planejamento educacional</i>	28
2.1.3 <i>Os reflexos do planejamento educacional sobre as redes de estabelecimentos de ensino no Brasil</i>	29
2.2 COBERTURA E DEMANDA EDUCACIONAIS.....	31
2.2.1 <i>Definição da clientela potencial que compõe a demanda educacional</i>	32
2.2.2 <i>Fatores que afetam a demanda educacional</i>	34
2.2.2.1 Fatores demográficos	34
2.2.2.2 Dinâmica de estruturação urbana.....	34
2.2.2.3 Atuação do poder público e de investimentos indutores de crescimento	35

2.2.2.4 Situação econômica da população	36
2.2.3 Cálculo da demanda educacional	36
2.2.4 Avaliação da cobertura educacional.....	39
2.2.4.1 Avaliação quantitativa da cobertura educacional.....	39
2.2.4.2 Avaliação espacial da cobertura educacional	39
3 O ESPAÇO URBANO E A LOCALIZAÇÃO DE ESTABELECIMENTOS DE ENSINO	45
3.1 REDES DE ESTABELECIMENTOS DE ENSINO E O ESPAÇO URBANO	46
3.2 FATORES QUE AFETAM A RELAÇÃO DOS ESTABELECIMENTOS DE ENSINO COM O ESPAÇO URBANO	47
3.2.1 Elementos físicos e ambientais	47
3.2.1.1 Elementos fisiográficos	48
3.2.1.2 Atividades	48
3.2.1.3 Infra-estrutura básica	50
3.2.1.4 Sistema viário	50
3.2.1.5 Condições ambientais	51
3.2.2 Acessibilidade	51
3.2.2.1 Definições	51
3.2.2.2 Acessibilidade e planejamento locacional de estabelecimentos educacionais.....	52
3.2.2.3 Medidas de acessibilidade.....	52
3.2.3 Legislação urbanística.....	64
4 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS E TÉCNICAS EMPREGADAS EM ANÁLISES LOCACIONAIS	67
4.1 CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO	67
4.1.1 Definição	67
4.1.2 O papel do cadastro no processo de planejamento	68
4.2 MODELOS URBANOS	69
4.2.1 Conceitos e definições	69
4.2.2 Classificação	71
4.2.2.1 Natureza dos componentes	71
4.2.2.2 Comportamento em relação à variável tempo	72
4.2.2.3 Finalidade	72

4.2.3 O papel dos modelos no processo de planejamento urbano	73
4.2.4 Modelos urbanos e os problemas de localização.....	75
4.2.4.1 Modelos de localização	75
4.2.4.2 Modelos de interação espacial	79
4.2.5 Limitações dos modelos.....	82
4.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	84
4.3.1 Definição	84
4.3.2 Organização da informação e estrutura de dados	84
4.3.3 Funcionalidades dos SIGs	88
4.3.4 SIG e planejamento urbano	90
4.3.5 Limitações dos SIGs	93
4.4 SISTEMAS ESPACIAIS DE SUPORTE À DECISÃO.....	94
4.4.1 Definição	94
4.4.2 Estrutura de um SDSS.....	96
4.4.3 Funcionalidades de um SDSS	101
4.4.3.1 Vantagens dos SDSS em relação ao uso isolado de SIGs e de modelos	102
4.4.4 SDSS e planejamento locacional de estabelecimentos de ensino.....	105
4.4.4.1 A natureza dos problemas de decisão locacional.....	105
4.4.4.2 O papel do SDSS no planejamento locacional de estabelecimentos de ensino	107
4.5 METODOLOGIAS MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO	115
4.5.1 Paradigma científico adotado.....	117
4.5.2 Fundamentos da metodologia MCDA	118
4.5.3 O apoio à decisão	120
4.5.4 O processo de apoio à decisão.....	121
4.5.5 O processo de modelagem dos problemas de decisão.....	125
4.5.6 Fases do processo de apoio à decisão segundo a metodologia MCDA ..	126

5 METODOLOGIA PARA A ESTRUTURAÇÃO CONCEITUAL DE UM MODELO DE LOCALIZAÇÃO DE ESTABELECIMENTOS DE ENSINO..... 127

5.1 DEFINIÇÃO DA BASE DE OPERACIONALIZAÇÃO DO MODELO	128
5.1.1 Forma de implementação.....	129
5.1.2 Operações básicas necessárias ao funcionamento do modelo	133

5.2 SELEÇÃO DA UNIDADE DE ANÁLISE	137
5.3 SELEÇÃO E DETERMINAÇÃO DA FORMA DE AVALIAÇÃO DAS VARIÁVEIS	140
5.3.1 <i>Demanda educacional</i>	140
5.3.1.1 Cálculo da demanda educacional atual	140
5.3.1.2 Cálculo da demanda educacional futura.....	142
5.3.2 <i>Estabelecimentos de ensino</i>	145
5.3.2.1 Determinação da oferta de vagas atual	145
5.3.2.2 Determinação da oferta de vagas futura.....	145
5.3.3 <i>Sistema de espaços públicos abertos</i>	146
5.3.3.1 Aplicação da metodologia MCDA para a determinação da tensão existente nos espaços públicos abertos	147
5.4 DETERMINAÇÃO DA FORMA DE REPRESENTAÇÃO DAS VARIÁVEIS.....	164
5.5 DETERMINAÇÃO DAS RELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS	166
5.6 DEFINIÇÃO DO TRATAMENTO CONFERIDO À VARIÁVEL TEMPO.....	167
6 PROPOSTA CONCEITUAL DE UM MODELO DE LOCALIZAÇÃO DE ESTABELECIMENTOS DE ENSINO.....	169
6.1 CARACTERIZAÇÃO DO MODELO	169
6.2 PROPÓSITO DO MODELO	170
6.3 FUNDAMENTOS DO MODELO.....	170
6.4 HIPÓTESES ADOTADAS PELO MODELO	174
6.5 VARIÁVEIS DO MODELO	175
6.6 DESCRIÇÃO DO ALGORITMO DE OPERACIONALIZAÇÃO DO MODELO	176
6.7 A MEDIDA DE POTENCIAL	183
6.8 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS.....	183
6.8.1 <i>Adequabilidade dos espaços onde se localizam estabelecimentos de ensino</i>	184
6.8.2 <i>Potencial dos espaços para virem a abrigar um estabelecimento de ensino</i>	185
6.8.3 <i>Cobertura territorial da rede de estabelecimentos de ensino</i>	186
6.8.4 <i>Sobreposição entre raios de abrangência de estabelecimentos de ensino</i>	187
6.8.5 <i>Estabelecimentos de ensino com raio de abrangência superior ao permitido</i>	187

6.9 APLICAÇÃO DO MODELO AO PLANEJAMENTO DE REDES DE ESTABELECIMENTOS DE ENSINO.....	188
6.9.1 <i>Análise da situação atual da rede de estabelecimentos de ensino</i>	188
6.9.2 <i>Simulação do comportamento atual da rede de estabelecimentos de ensino frente a alterações no sistema</i>	190
6.9.3 <i>Simulação do comportamento futuro da rede de estabelecimentos de ensino</i>	191
6.10 LIMITAÇÕES DO MODELO	191
6.10.1 <i>Incomparabilidade entre resultados de sistemas diferentes</i>	192
6.10.2 <i>Necessidade de dados desagregados</i>	192
6.10.3 <i>Necessidade da aplicação de uma metodologia multicritério para a determinação da tensão dos espaços públicos</i>	193
7 CONCLUSÕES	195
7.1 QUANTO À INCORPORAÇÃO DA METODOLOGIA MCDA NO APOIO À DECISÃO LOCACIONAL	195
7.2 QUANTO À BASE DE OPERACIONALIZAÇÃO DO MODELO.....	197
7.3 QUANTO ÀS IMPLICAÇÕES DO TRABALHO SOBRE O PLANEJAMENTO LOCACIONAL DE SERVIÇOS	197
7.4 OS PRÓXIMOS PASSOS: RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	198
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	200

1 Introdução

1.1 Delimitação do tema

Políticas educacionais recentes vêm consolidando uma nova ordem no trato das questões relacionadas à educação no Brasil (SCHWARTZMAN, 2005). Contrariando o modelo de governo, elas estimulam a descentralização da administração da educação e transferem seu foco do sistema de ensino para o estabelecimento de ensino, com o objetivo de promover um maior envolvimento das prefeituras com a educação (OLIVEIRA; DUARTE, 1997; SAVIANI; 1999). Essas medidas repousam sobre a premissa de que intervenções de pequena escala, no sistema educacional dos municípios, são a maneira mais eficiente de se construir o cenário desejado para a educação no país.

O novo paradigma de administração da educação implica diretamente no aumento da responsabilidade legal dos municípios nessa área, provocando uma mudança de atitude dos gestores públicos. Em muitas ocasiões, o “dever de prestar contas” transforma-se em “estímulo” para a correção de antigas falhas cometidas no sistema educacional, gerando um ambiente favorável à introdução de novas e melhores práticas de trabalho nas prefeituras.

Uma dessas falhas, que há muito vem prejudicando a qualidade e eficiência do sistema educacional, diz respeito à fragilidade dos critérios que apóiam a tomada de decisão do poder público municipal para intervir nas redes escolares (ARANTES, 2001).

Na prática, os critérios orientadores dos órgãos municipais competentes na ampliação da rede física de estabelecimentos educacionais são, geralmente, a solicitação da comunidade e a disponibilidade de terrenos públicos. Se, por um lado, esse procedimento demonstra preocupação das prefeituras em atender às reivindicações populares, por outro, revela total negligência com aspectos técnicos importantes, como localização baseada numa relação de equilíbrio com o entorno e distribuição espacial racional e eqüitativa.

Além disso, as intervenções na rede de estabelecimentos de ensino, seja a instalação de novas unidades, seja a redistribuição espacial das já existentes ou outras formas, são fruto normalmente de projetos isolados. Sendo assim, são executadas sem nenhuma preocupação com a rede de estabelecimentos de ensino já existente, suas necessidades futuras ou mesmo com o entorno, revelando o descaso do setor público com o planejamento (ARANTES, 2001).

Em suma, o estabelecimento de ensino geralmente é visto pela administração pública exclusivamente como um elemento integrante do sistema educacional, descolado do espaço que ele ocupa na cidade.

Talvez no modelo antigo de administração da educação essa percepção reducionista não tivesse muitas implicações, visto que as decisões, tomadas pelos órgãos centrais, normalmente eram direcionadas ao sistema de ensino como um todo, o qual não possui localização e distribuição espaciais definidas no espaço urbano.

Contudo, o estabelecimento de ensino alvo das novas políticas educacionais possui esses dois atributos, o que confirma a necessidade de adequação do processo de tomada de decisão para intervir nas redes escolares. Além das questões pedagógicas, tradicionalmente observadas, questões relacionadas à localização no território - ambientais, topográficas, urbanísticas, espaciais, etc. - também devem fazer parte das análises e dos diagnósticos integrantes do processo.

Apesar do grande número de estudos e pesquisas sobre a localização e distribuição espacial de bens e serviços (FERLAND; GUÉNETTE, 1990; ALMEIDA, 1999; LOBO, 2003; JONES; MARTIN, 2003; ARANTES, 2001, 1986) realizados por pesquisadores no mundo inteiro, sua aplicação é reduzida no Brasil. O país sofre com a falta de efetividade das iniciativas voltadas a sua modernização científica e tecnológica, principalmente aquelas referentes à otimização das ações do setor público, embora isto pudesse ser alcançado por meio de pesquisas acadêmicas de baixo custo de execução e, muitas vezes, também de implementação.

Nesse contexto, para que a vontade das prefeituras de melhorar a qualidade e o desempenho de seus sistemas de ensino se converta em resultados concretos, é preciso oferecer-lhes subsídios para promover as mudanças necessárias. Um dos primeiros passos a serem dados, nesse sentido, é a disponibilização de ferramentas de apoio à tomada de decisão para a localização espacial que permitam a realização de diagnósticos e análises técnicos, eficientes e de compreensão clara.

As ferramentas mais utilizadas para estudar a localização e distribuição espacial de bens e serviços são os modelos urbanos. De maneira geral, eles consideram o fluxo de consumidores e a distância entre suas residências e os demais espaços da cidade para determinar a melhor localização de um dado bem ou serviço (ALMEIDA, 1999). Mais recentemente, uma nova tendência no trato de questões locacionais são os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). Esses sistemas normalmente realizam operações que se baseiam em propriedades espaciais de proximidade, sobreposição, contigüidade e extração para determinar a localização de um dado elemento no espaço (MAGUIRE; DANGERMOUND, 1991).

Entretanto, ambas as ferramentas apresentam limitações quando empregadas no apoio à tomada de decisão para a localização espacial de estabelecimentos de ensino no espaço urbano, pela falta de flexibilidade e adaptabilidade à realidade de cada município, dificuldade de operacionalização, pela falta de clareza dos resultados e fundamentação teórica frágil (HARRIS; BATTY, 1992).

Uma solução bastante promissora para fazer frente a essa deficiência são os Sistemas Espaciais de Suporte à Decisão (SDSSs). Esses sistemas reúnem em seu núcleo funcional as principais ferramentas de planejamento tradicionais: Sistemas de

Informações Geográficas (SIGs), modelos urbanos e ferramentas estatísticas. Essa união, os torna capazes de oferecer suporte efetivo e eficiente ao processo de planejamento como um todo (KLOSTERMAM, 1997).

Os benefícios de se concentrar em uma só ferramenta as facilidades encontradas em várias, isoladamente, são sentidos no aumento significativamente do número de análises possibilitadas pelo sistema. E dado o caráter modular dos SDSSs, os usuários, partindo de um conjunto básico de ferramentas, podem gradativamente incrementar seu processo de tomada de decisão, acrescentando novas ferramentas, conforme ampliem sua base de dados ou surja a necessidade de análises mais refinadas (HARRIS; BATTY, 1992; WEGENER, 1998).

Diante disso, este trabalho analisa os estabelecimentos educacionais considerando sua relação com o espaço urbano e partindo do pressuposto de que sua localização causa impactos sobre a qualidade e eficiência do sistema educacional. Também discute ferramentas de localização, levando em conta sua capacidade de apoiar o processo de tomada de decisão das administrações públicas municipais, para promover a localização e distribuição dos estabelecimentos educacionais no espaço de maneira criteriosa, racional e planejada.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um modelo conceitual de localização de estabelecimentos de ensino a ser implementado num Sistema de Informações Geográficas, configurando um Sistema Espacial de Suporte à Decisão voltado para o planejamento de redes de estabelecimentos de ensino.

É importante ressaltar que esse objetivo acima atende a outro maior, orientador de um projeto cuja complexidade e extensão impedem sua conclusão no prazo disponível para a elaboração deste trabalho: a construção de um Sistema Espacial de Suporte à Decisão. Portanto, o desenvolvimento do modelo não deve ser pensado isoladamente de seu fim, sob pena de alguns elementos discutidos ao longo do trabalho parecerem fora de contexto, prejudicando a linha de argumentação traçada.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Estudar critérios que influenciam a localização de estabelecimentos de ensino;
2. Estudar técnicas de seleção e avaliação de múltiplos critérios;
3. Estudar as relações que se estabelecem entre os elementos envolvidos na localização de estabelecimentos de ensino na estrutura urbana;
4. Elaborar uma medida para avaliar a localização de estabelecimentos de ensino na estrutura urbana;
5. Estudar as formas de implementação de modelos em SIG.

1.3 Justificativa

Apesar de se mostrarem cada vez mais um instrumento indispensável para a tomada de decisão sobre a rede de estabelecimentos de ensino, as ferramentas de localização normalmente empregadas nessa tarefa ainda não atingiram uma forma ideal.

Os modelos urbanos, uma das ferramentas mais tradicionais, em geral mostram-se pouco operacionais em função da grande quantidade de dados que exigem e da cansativa e rígida seqüência de passos a serem seguidos até a obtenção de resultados, muitas vezes de difícil compreensão. Além disso, a interface com o usuário é pouco amigável, o que prejudica a interatividade no processo de construção de alternativas e, conseqüentemente, o seu entendimento, tornando difícil para o usuário tomar uma decisão com base nelas (WEGENER, 1998; BATTY 1992).

Ao contrário dos modelos, os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), uma outra classe de ferramentas bastante utilizada para o fim tratado, oferecem interface amigável e operacionalização facilitada. Por outro lado, os procedimentos para localização nesses sistemas estão apoiados na simples aplicação de operações espaciais, cuja fundamentação teórica é bastante questionada, principalmente pela falta de robustez (YEH; CHOW, 1996; RIBEIRO; ANTUNES, 2002).

Além das falhas e limitações apresentadas por cada ferramenta, outra questão comum a ambas tem se configurado como um dificultador do seu desenvolvimento, de uma maneira geral: a escassez de literatura sobre critérios técnicos para localização de equipamentos urbanos, como os estabelecimentos de ensino. O pouco material existente se resume a livros antigos, em grande parte com tiragem esgotada e cujo conteúdo não se adapta à realidade brasileira.

Diante dessas limitações, este trabalho pretende contribuir, sob dois aspectos principais, para melhorar o processo de tomada de decisão para a localização de estabelecimentos de ensino no espaço urbano.

O primeiro deles é o aspecto operacional, mais relacionado com as ferramentas computacionais utilizadas no processo. Pretende-se desenvolver um modelo conceitual de localização cuja implementação deve ser realizada em um SIG, fazendo com que a ferramenta resultante dessa combinação, um Sistema Espacial de Suporte à Decisão, concentre as vantagens das duas ferramentas e diminua sensivelmente as limitações que elas apresentam quando utilizadas isoladamente.

Além disso, o modelo será desenvolvido de forma a não existir vinculação direta entre a sua implementação e um software específico. Essa generalidade lhe conferirá maior capacidade de adaptação, dando liberdade ao usuário para definir o SIG que adquirirá, o qual poderá servir a mais de um propósito. Dessa forma, as prefeituras que optarem por implementar esse sistema terão em mãos uma ferramenta flexível, capaz de produzir respostas numa velocidade condizente com as demandas da administração municipal, a partir de operações fundamentadas teoricamente, entre outras vantagens.

O segundo aspecto é de natureza técnica, relacionado com os critérios de localização que fundamentam as decisões do processo. O trabalho pesquisará os principais critérios que influenciam a localização de estabelecimentos de ensino para então incorporá-los ao processo de tomada de decisão, conferindo respaldo técnico às ações executadas pelo poder público. Para obter o melhor aproveitamento da inserção dos critérios ao processo será utilizada uma técnica de seleção e avaliação de múltiplos critérios, a Metodologia Multicritério de Apoio a Decisão - MCDA. A partir dela é possível considerar o ponto de vista de diversos atores envolvidos em

uma determinada questão para estabelecer os critérios que devem ser avaliados para atender um dado propósito (ENSSLIN; MOTIBELLER NETO; NORONHA, 2001). A metodologia MCDA também define a intensidade com que cada critério afeta os demais e a decisão final dos diversos atores.

Acredita-se que a melhora do processo de tomada de decisão para a localização de estabelecimentos de ensino no espaço urbano, por sua vez, produzirá mudanças positivas na administração pública e no sistema de educação.

A administração pública terá melhores condições de investir no planejamento da rede de estabelecimentos de ensino, já que o processo de decisão poderá contar com prognósticos sobre o comportamento da rede frente a determinadas situações, elaborados pelo SDSS. Os ganhos também poderão ser sentidos na área financeira, a partir da otimização de recursos públicos para educação, visto que as decisões de intervir na rede escolar serão provavelmente direcionadas a ações prioritárias, que produzam melhorias em diversos setores simultaneamente (administrativo, financeiro, pedagógico, urbanístico, etc.).

Outras atividades que se beneficiarão das mudanças são a elaboração, implementação e monitoramento de políticas públicas. O processo de apoio à tomada de decisão feito pelo SDSS permite uma descrição mais clara e objetiva do quadro educacional, revelando os problemas e necessidades reais do sistema e aperfeiçoando o processo de elaboração das diretrizes gerais propostas pelos órgãos centrais. As metas se tornam mais realistas e condizentes com as prioridades e as soluções propostas são mais fáceis de serem implementadas, por serem concretas e refletirem a realidade local. E também há melhora na articulação entre a elaboração das diretrizes e a sua implementação no estabelecimento de ensino, resultando novamente numa maior otimização dos recursos empregados (OLIVEIRA; DUARTE, 1997).

Em decorrência disso, o sistema de ensino ganhará em qualidade e eficiência. O aumento da qualidade dos estabelecimentos de ensino, promovido pela inclusão da localização espacial nos diagnósticos, poderá ser sentido no fato de que, instalado o estabelecimento em locais mais adequados, ele passará a ter uma interação mais harmoniosa com o entorno, contribuindo para produzir um ambiente de

aprendizagem favorável. Já a eficiência do sistema educacional aumentará porque a análise da localização espacial dos estabelecimentos de ensino e sua distribuição no espaço revelará a existência de possíveis sobreposições entre áreas de atendimento de estabelecimentos distintos ou dos sistemas de ensino municipal e estadual, e também áreas sem atendimento.

Entretanto, com a melhora do processo de apoio à tomada de decisão acredita-se estar colaborando para uma questão maior e fundamental, que extrapola os limites do tema principal deste trabalho: o papel social da educação. A educação é direito essencial de todo cidadão por figurar como condição essencial para sua participação política e social e, conseqüentemente, para sua contribuição para o desenvolvimento e crescimento do país (SOARES, 2005).

Nesse quadro, os estabelecimentos educacionais, por serem um meio de disseminação da educação, desempenham um importante papel no desenvolvimento social, econômico e cultural de uma nação. Eles são o lugar de reprodução das relações e contradições verificadas no contexto social em que se insere o sistema educacional, além de propiciarem a difusão de uma ideologia dominante ou a introdução de uma nova cultura a outras gerações. Por isso, considera-se a escola como instrumento indutor do progresso, da socialização e do exercício da cidadania (ALMEIDA, 1999).

A influência mútua entre as questões educacionais e de cidadania provoca o surgimento de uma importante relação entre os estabelecimentos educacionais e a sociedade, observada no fato dos estabelecimentos de ensino muitas vezes atuarem como mecanismos organizadores da sua vizinhança e de toda a comunidade num sentido mais amplo (TALEN, 2001).

Hoje, considera-se que a escola está inserida e constituída em um bairro, em uma cidade que carrega consigo sua história, geografia e instituições e na qual se manifestam movimentos sociais, políticos e culturais, que se originam no ambiente educacional e sobre ele se refletem. Nos últimos anos, a renovação da educação vivenciada em muitas escolas brasileiras tem transformado o entorno da escola também em escola, ou seja, a própria escola está gerindo a reconstrução daquela antiga comunidade que a cerca. Com isso, a escola tem reafirmado sua vocação de

pólo gerador e irradiador de conhecimento e cultura, contribuindo para reconstruir a organização da comunidade pelos seus próprios atores (BRASIL, 2004).

Daí a importância de se desenvolver um trabalho focado em prover e projetar as transformações e necessidades futuras do sistema municipal de administração da educação, através da disseminação de uma nova mentalidade, a começar pela incorporação de ferramentas computacionais eficientes e flexíveis para apoiar e melhorar a qualidade da tomada de decisão dos órgãos públicos para intervir na rede de estabelecimentos de ensino.

1.4 Estrutura do trabalho

O trabalho se divide em 7 capítulos.

Neste primeiro capítulo é apresentado o tema abordado pelo trabalho, utilizando elementos teóricos suficientes para revelar como ele se insere num contexto mais amplo. Em seguida, são expostos os objetivos que se pretende alcançar e a justificativa da escolha de se trabalhar a questão da localização de estabelecimentos de ensino.

No capítulo 2 são abordadas questões educacionais que possuem relação com a localização de estabelecimentos de ensino. São apresentados os objetivos e limitações do planejamento educacional e suas conseqüências sobre as redes escolares brasileiras em função da forma como foi conduzido esse processo. Também são comentados os temas cobertura e demanda educacional e suas implicações sobre a localização de estabelecimentos de ensino.

No capítulo 3 é explorada a questão da relação existente entre o espaço urbano e os estabelecimentos de ensino. São apresentados diversos elementos que compõem a estrutura urbana (como barreiras fisiográficas, sistema viário, infra-estrutura, atividades, etc.) e o tipo de relação que se estabelece entre eles e o ambiente educacional. A acessibilidade e a legislação urbanística, considerados como os principais fenômenos urbanos que interferem sobre a localização de estabelecimentos de ensino, também são abordados.

No capítulo 4 são discutidas as ferramentas computacionais e técnicas que podem ser empregadas em análises, no planejamento e no apoio à decisão locacional de estabelecimentos de ensino. Inicialmente é explorado o Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM) e sua importância para o planejamento urbano. Em seguida são trabalhados os modelos urbanos e Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), buscando identificar suas potencialidades e limitações na realização de análises voltadas ao planejamento urbano. Depois disso, é apresentada uma ferramenta que une modelos e SIGs, os Sistemas Espaciais de Suporte à Decisão (SDSSs), e sua aplicabilidade sobre a questão da localização. E finalmente são tratadas as metodologias multicritério de apoio à decisão (MCDA).

No capítulo 5 é apresentada a metodologia adotada para estruturar o modelo de localização de estabelecimentos de ensino que está sendo proposto neste trabalho. São tratadas questões referentes à base de operacionalização do modelo, ou seja, o tipo de vinculação que deverá existir entre o modelo e o SIG e algumas operações básicas que o SIG deve executar. Também são apresentadas as variáveis do modelo, os critérios pelos quais elas serão avaliadas, sua forma de representação e as relações espaciais entre elas que o modelo incorpora.

No capítulo 6 é proposta a estrutura conceitual do modelo de localização desenvolvido. Nela são tratados inicialmente os fundamentos e hipóteses adotados para estruturar o modelo. O algoritmo que operacionalizará o modelo e a medida oferecida por ele são explorados a seguir. Também são apresentadas algumas aplicações no planejamento locacional de estabelecimentos de ensino que acredita-se o modelo poderá ser utilizado. Para finalizar são expostas as limitações do modelo que puderam ser percebidas durante essa fase de estruturação.

No capítulo 7 são desenvolvidas as conclusões do trabalho, que nesse caso, se caracterizam mais como inconclusões, já que pouco pode-se afirmar sobre as implicações do trabalho desenvolvido. Algumas sugestões para trabalhos futuros são apresentadas considerando-se as etapas mais imediatas a serem realizadas para a construção do SDSS, no qual o modelo estará inserido.

E finalmente, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas no desenvolvimento do trabalho.

2 Questões educacionais relacionadas com a localização de estabelecimentos de ensino

2.1 Planejamento educacional

Neste item serão apresentadas questões educacionais teóricas e metodológicas relacionadas aos estabelecimentos de ensino que, apesar de não fazerem parte do foco principal deste trabalho, são importantes para tornar claro o fato de que esses estabelecimentos estão inseridos num contexto muito mais amplo que o de simples local de prestação do serviço educacional.

Para tanto, será explorada a questão do planejamento educacional, cujas ações são responsáveis pelo cumprimento efetivo e integral do papel dos estabelecimentos de ensino. Em seguida, serão apresentadas algumas das características das redes de estabelecimentos de ensino brasileiras, resultantes das ações de planejamento empreendidas pela administração pública sobre elas até os dias de hoje.

2.1.1 Objetivos do planejamento educacional

Segundo Souza (2003, p.46) planejar significa:

[...] tentar prever a evolução de um fenômeno [...] tentar simular os desdobramentos de um processo com o objetivo de melhor precaver-se contra prováveis problemas ou, inversamente, como o fito de melhor tirar partido de prováveis benefícios.

Através do planejamento é possível detectar e diagnosticar possíveis problemas, construir cenários de evolução, avaliar alternativas de decisões, propor programas de intervenção, predizer o comportamento de determinado sistema, entre outras ações (ALMEIDA, 1999). Esse leque de aplicações do planejamento tem sido empregado no estudo das redes de estabelecimentos de ensino sob os mais diversos enfoques e metodologias (FERLAND; GUÉNETTE, 1990; ARANTES, 1989, 2001, 1986; PIZZOLATO; SILVA, 1993; ALMEIDA, 1999; RIBEIRO; ANTUNES, 2002).

No contexto educacional, o sentido do planejamento está em gerar ações capazes de modificar a situação atual, propondo alternativas de ações que corrijam eventuais problemas, normalmente relacionados com desigualdades na cobertura da rede de estabelecimentos de ensino e na qualidade dos serviços oferecidos (ARANTES, 2001), aproximando-a da forma considerada adequada ao momento e às características da sociedade em que o sistema educacional está inserido (ALMEIDA, 1999).

Nesse contexto, Almeida (1999, p. 13) afirma que o planejamento educacional, em seus diversos níveis, visa a metas importantes, tais como:

1. Assegurar uma educação de base científica e tecnológica que atenda às exigências técnicas e socioeconômicas regionais;
2. Garantir a aplicação eficaz dos recursos colocados à disposição;
3. Organizar a rede escolar de forma a propiciar bons níveis de acessibilidade, considerando as evoluções demográficas, sociais e econômicas;
4. Criar condições de acesso que ofereçam funcionalidade, segurança e sejam economicamente viáveis;
5. Prever os investimentos necessários em prazos determinados a fim de garantir a qualidade desejável;
6. Estruturar propostas de intervenção na rede escolar.

Para implementar todas essas tarefas os poderes públicos elaboram regulamentos e planos educacionais. Esses planos podem variar em abrangência desde grandes planos gerais até planos locais bastantes específicos (ARANTES, 1986).

Os planos de ensino globais (macroplanos) geram políticas, diretrizes e orientações gerais. As políticas indicam o tratamento que deve ser conferido a questões de cobertura, de qualidade dos meios e de eficiência interna do sistema, de equidade de oportunidades educacionais e de gestão da educação. Já as diretrizes apontam como os meios disponíveis e disponibilizáveis podem ser articulados para o cumprimento das políticas estabelecidas. Além disso, o macroplanejamento define as prioridades educacionais, as metas¹ a serem alcançadas no horizonte de tempo do planejamento e as normas e padrões de funcionamento do sistema educacional. Em função de seu caráter abrangente, planos dessa natureza exercem pouca influência direta sobre cada estabelecimento de ensino (SAVIANI, 1999).

A intervenção direta sobre os estabelecimentos de ensino fica a cargo dos planos de ensino locais (microplanos), que a partir de políticas e diretrizes dos planos globais estabelecem políticas específicas e ações pontuais, através de projetos de intervenção em estabelecimentos de ensino e de adaptação das normas gerais às particularidades locais (ARANTES, 2001).

É importante ressaltar que para garantir coerência entre esse conjunto de planos é necessária uma estrutura de planejamento organizada e articulada, capaz de estabelecer os papéis de cada órgão responsável e o relacionamento entre eles (OLIVEIRA; DUARTE, 1997).

2.1.2 Limitações do planejamento educacional

Segundo Almeida (1999), a implementação de uma sistemática de planejamento para a educação escolar esbarra em várias limitações. Alguns problemas enfrentados pelos planejadores do setor estão relacionados com:

1. A profunda interdependência existente entre todos os fatores e recursos inerentes ao processo de ensino;

¹ As metas geralmente estabelecem o grau de cobertura a ser oferecido em cada nível de ensino, podendo especificar indicadores de qualidade de ensino (ARANTES, 2001).

2. Os procedimentos de instalação de unidades escolares que, segundo Pizzolato e Silva (1993, p. 4), estão longe de ser adequados, pois:

[...] há comunidades que não conseguem ser ouvidas e sequer se expressam, tendendo a serem completamente ignoradas; no entanto há outras que, por incorreta avaliação das relações espaciais, podem ser generosamente atendidas, pleiteando escolas que virão a ter capacidades ociosas.

3. As dificuldades na definição de políticas, na priorização de programas que assegurem padrões de eficiência e acessibilidade;

4. A falta de informações sistemáticas e confiáveis sobre a realidade dos sistemas escolares e os meios de tratamento dessas informações.

Outra questão que dificulta a implementação das ações de planejamento diz respeito à fragilidade das técnicas normalmente utilizadas na realização de diagnósticos. Os diagnósticos são, de maneira geral, muito vagos na suas conclusões, em função da abrangência macro de suas análises, realizadas com base em dados de fontes secundárias, em sua maioria, em formato bastante agregado. Esse fato faz com que os resultados oferecidos pelos diagnósticos não sejam consistentes e precisos, o suficiente, para embasar a tomada de decisão sobre as políticas definidas durante o processo de planejamento.

Portanto, as técnicas de análises utilizadas no planejamento educacional devem ser coerentes com seus níveis de abrangência territorial, isto é, devem ser utilizadas técnicas diferenciadas para os níveis de planejamento micro e macro e para dados agregados e desagregados. Além disso, é necessário diminuir o excessivo normativismo sobre o qual as técnicas de diagnóstico estão fundamentadas, buscando incorporar flexibilidade ao processo de planejamento para que ele se torne mais positivo (ARANTES, 1989).

2.1.3 Os reflexos do planejamento educacional sobre as redes de estabelecimentos de ensino no Brasil

O resultado do processo cumulativo das ações de planejamento empreendidas sobre as redes de estabelecimentos de ensino no Brasil pode ser visto na acentuada

heterogeneidade que elas apresentam. As diferenças se manifestam com relação ao desempenho acadêmico, aos serviços extra-classe e à qualidade das instalações entre estabelecimentos de uma mesma rede.

Segundo Arantes (2001), a urbanização acelerada ocorrida nas últimas décadas levou as administrações municipais a expandirem suas redes escolares, visando a atender a nova demanda, principalmente nas áreas descobertas pelo atendimento da rede estadual. O caráter emergencial da expansão fez com que muitas prefeituras realizassem as obras de ampliação de suas redes educacionais sem nenhum apoio de estudos técnicos ou do planejamento. Ao contrário, houve uma diminuição no rigor no cumprimento das normas e padrões de atendimento² incidentes sobre o sistema educacional brasileiro.

O resultado do descaso com a observância das normas e padrões de atendimento se reflete hoje em uma rede escolar com muitas realidades diferentes, tanto do ponto de vista das instalações físicas quanto dos demais meios – humano e material – indispensáveis. São inúmeros os estabelecimentos de pequeno porte com deficiências de dependências internas (como bibliotecas, laboratórios, sala de professores, etc.) e de infra-estrutura básica (água e esgotamento sanitário) (OLIVEIRA, 2005).

Essas disparidades entre os estabelecimentos produzem conseqüências diretas sobre a alocação dos estudantes nas escolas, que muitas vezes foge à lógica da escola mais próxima de sua residência (PIZZOLATO; SILVA, 1993). Isso ocorre em função da diferença de qualidade que a escola mais próxima pode apresentar quando comparada a outras da mesma rede, normalmente caracterizada por: melhor localização, acesso ao serviço de transporte coletivo, prédio em boas condições, existência de equipamentos complementares (quadras de esporte, laboratórios, auditórios, cantinas, etc.), entre outros fatores. Para a maioria dos alunos de famílias

2 As normas e padrões de atendimento são utilizados como referência no diagnóstico do atendimento oferecido pelo sistema educacional, quando da avaliação dos estabelecimentos de ensino. Elas devem definir, entre outras coisas: o número máximo e mínimo de alunos por sala de aula; a área ocupada por aluno nas dependências do estabelecimento; as dependências físicas indispensáveis e suas dimensões; a idade, finalidade e estado de conservação das construções, etc. (ARANTES, 2001).

de classe média a alta o acesso a um ambiente de ensino de melhor qualidade justifica a necessidade de percorrer grandes distâncias e, conseqüentemente, em alguns casos, utilizar meios de transporte que implicam gastos extras.

A ausência de uma lógica de alocação dos estudantes nas escolas, por sua vez, gera reflexos sobre o planejamento das redes de estabelecimentos de ensino que, na maior parte das vezes, realiza suas análises e elabora seus planos, diretrizes e metas considerando a proximidade como critério de alocação dos alunos na escola. Essa diferença, entre os hábitos reais dos alunos e o comportamento que as práticas de planejamento assumem seja apresentado por eles, gera sérias distorções entre o cenário produzido pelas análises e a real situação locacional, de cobertura e de demanda dos estabelecimentos de ensino encontrada nas cidades brasileiras.

Por isso, Pizzolato e Silva (1993) consideram de grande urgência que haja uma padronização da qualidade da rede pública de ensino visando a garantir que todas as escolas de uma mesma rede tenham suas características aproximadas de um modelo de escola eleito como padrão.

Uma das principais vantagens da equalização do padrão da rede escolar está no fato de que:

No momento em que a escola mais próxima da residência oferece uma garantia de qualidade e atratividade idênticas ou não muito inferiores à escola modelo, então o critério proximidade passa a ser um determinante na seleção da escola pelo aluno (Pizzolato e Silva, 1993, p. 3).

2.2 Cobertura e demanda educacionais

Genericamente, o problema da cobertura e da demanda pode ser definido da seguinte maneira: o sistema educacional oferece um serviço que deve ser dimensionado e disponibilizado por estabelecimento de ensino, cuja distribuição espacial na estrutura urbana deve ser definida com base nas relações espaciais que se estabelecem entre o serviço e a clientela existente (ARANTES, 2001).

Ambos os fatores, cobertura e demanda, são determinantes em qualquer intervenção empreendida sobre a rede de estabelecimentos de ensino que implique no seu dimensionamento, como ampliação, localização de novas unidades, desativação de unidades, reordenamento, planejamento, entre outras. Normalmente,

a necessidade de intervenção sobre a rede escolar decorre de alterações no comportamento da demanda, que, por sua vez, influenciam o padrão de cobertura oferecido pela rede. Dessa forma, uma avaliação correta e eficiente desses aspectos mostra-se fundamental para um dimensionamento adequado das redes de estabelecimentos de ensino, que, por sua vez, é decisivo para o bom funcionamento e atendimento dos estabelecimentos.

No entanto, para que se consiga realizar uma avaliação precisa e eficiente sobre a cobertura e da demanda educacionais, tanto com relação aos procedimentos, quanto aos resultados fornecidos, alguns aspectos precisam ser observados, como: a) a clientela que compõe a demanda educacional, considerando-se o propósito da avaliação b) os fatores que afetam a demanda educacional; c) os métodos de cálculo da demanda e as situações para as quais cada método oferece melhores respostas; d) os métodos empregados na avaliação da cobertura educacional e as situações para as quais cada método oferece melhores respostas; e e) as informações que devem ser fornecidas pela avaliação da demanda e da cobertura.

2.2.1 Definição da clientela potencial que compõe a demanda educacional

De maneira geral, a demanda educacional pode ser definida como a quantidade de pessoas em idade de escolarização. Quando a demanda é tratada, não em termos quantitativos mas, no sentido de identificar o perfil das pessoas que devem ter acesso à educação ela é chamada de clientela potencial. É interessante deixar clara a diferença existente entre clientela potencial e clientela: a primeira se refere às pessoas que deveriam ser atendidas por algum estabelecimento de ensino e a segunda diz respeito às pessoas que realmente são atendidas por um deles.

Dependendo dos objetivos de cada estudo realizado sobre as redes escolares, a clientela potencial que compõe a demanda educacional irá variar principalmente de acordo com a combinação dos seguintes fatores: abrangência territorial, sistema educacional, nível de ensino e categoria administrativa da rede (SAVIANI, 1999).

De acordo com a **abrangência territorial**, a clientela potencial pode ser referente à população em idade escolar de um continente, de um país, de um estado, de um município ou até mesmo de uma zona urbana.

Com relação ao **sistema educacional**, a demanda será definida pela população dentro da faixa etária que compete a cada sistema. De maneira geral, um sistema educacional pode ser considerado como uma estrutura complexa e abrangente, variável no tempo e no espaço de acordo com as condições sociais, culturais, econômicas e políticas de cada sociedade. Ele compreende o conjunto de meios educacionais subordinados às mesmas políticas e regulamentações que atuam sobre um mesmo espaço físico determinado (ALMEIDA, 1999). No Brasil, a Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB – Lei nº 9.394/96) define a existência de três sistemas de ensino: sistema de ensino federal, sistema de ensino estadual e sistema de ensino municipal (BRASIL, 1996).

Considerando o **nível de ensino**, a demanda depende da população existente na faixa etária atendida por cada nível, como determina a Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB – Lei nº 9.394/96). A composição dos níveis de ensino segundo a LDB se encontra organizada da seguinte maneira: a) educação básica – formada pela educação infantil, ensino fundamental e ensino médio e; b) educação superior (BRANDÃO, 2003). A educação infantil deve atender as crianças na faixa etária dos 0 aos 6 anos de idade. O ensino fundamental deve atender as crianças e aos jovens na faixa dos 7 aos 14 anos de idade. Devido às diferenças de comportamento e de necessidades apresentadas pelos indivíduos dentro da extensa faixa etária compreendida neste nível de ensino, normalmente ele é dividido em dois ciclos: 1º ciclo, que atende a faixa etária dos 7 aos 10 anos de idade, e 2º ciclo, que atende a faixa etária dos 11 aos 14 anos. O ensino médio tem como clientela potencial os jovens que possuem entre 15 e 17 anos de idade ou que já tenham concluído o ensino fundamental. E o ensino superior deve atender os jovens e adultos com 18 anos de idade ou mais ou que tenham o ensino médio completo.

Ao se considerar a **categoria administrativa da rede de ensino**, a demanda será determinada pela população em idade escolar matriculada na rede pública ou na rede particular de educação.

2.2.2 Fatores que afetam a demanda educacional

De maneira geral, os principais fatores que afetam a demanda educacional são: fatores demográficos, dinâmica de estruturação urbana, atuação dos poderes públicos e de investimentos indutores de crescimento (ARANTES, 2001).

2.2.2.1 Fatores demográficos

Os fatores demográficos atingem a demanda educacional por meio de alterações nas taxas de natalidade, de mortalidade e de migrações. Mudanças na estrutura demográfica brasileira provocam profundas alterações nas taxas de crescimento populacional, o que dificulta as estimativas populacionais tanto no período atual quanto em um horizonte de tempo futuro. No Brasil, as mudanças demográficas ocorridas nas últimas décadas se refletiram numa quase estagnação da população em idade escolar no nível básico de educação (SCHWARTZMAN, 2005).

2.2.2.2 Dinâmica de estruturação urbana

Além das mudanças na estrutura demográfica, a dinâmica de estruturação urbana gera movimentos internos que interferem nas taxas de crescimento populacional, provocando alterações na magnitude e na distribuição espacial da demanda educacional e dificultando a sua avaliação.

Um destes movimentos diz respeito aos fenômenos migratórios interurbanos, como o deslocamento das populações de baixa renda para as áreas periféricas e a ocupação das áreas centrais privilegiadas pela população de renda elevada, ocasionando o surgimento de setores temporariamente mistos até sua completa transformação. Mais recentemente, também vem ocorrendo o esvaziamento das áreas centrais pelas famílias de alto poder aquisitivo que se deslocam para áreas mais afastadas fugindo da violência e do caos urbano, e a ocupação dessas áreas centrais pela população de baixa renda (ARANTES, 2001).

Essa substituição da população de baixa renda pela população mais abastada em áreas específicas do espaço urbano gera reflexos diretos sobre a demanda educacional existente, provocando a redução do número de matrículas e a ociosidade dos estabelecimentos de ensino. Quando esse processo de substituição leva a população de baixa renda a originar assentamentos ilegais (favelas, invasões,

loteamentos clandestinos) normalmente pela indisponibilidade de terrenos a preços populares, o acesso à educação e à rede educacional sofre consequências graves. Como trata-se de ocupação irregular, fica proibida a implantação de bens públicos, além de, normalmente, serem áreas de difícil acesso, inundáveis ou sujeitas a desmoronamentos (CAMPOS FILHO, 2003).

Outro fator que influencia a demanda educacional é o tempo de fixação da população nos espaços da cidade. Isto porque à medida que uma população se fixa em uma zona as taxas de natalidade registradas ali caem significativamente. Conseqüentemente a demanda educacional nessas áreas tende a diminuir progressivamente com o passar do tempo, fazendo com que os estabelecimentos de ensino destinados a atendê-las passem a operar em regime de ociosidade ou recebendo a clientela de outros estabelecimentos (ARANTES, 2001).

As taxas de crescimento populacional nas zonas urbanas também são afetadas pelos seguintes aspectos: existência de lotes vagos ou de áreas de expansão adjacente, custo dos terrenos, ausência de restrições legais ao adensamento e verticalização, atratividade gerada por elementos paisagísticos, climáticos ou de salubridade ambiental, investimentos públicos em obras de infra-estrutura viária, disponibilidade de infra-estrutura básica (água, luz e esgoto), presença de atividades geradoras de emprego, etc. (CAMPOS FILHO, 2003).

Por outro lado, existem fenômenos urbanos que, ao invés de produzirem crescimento populacional nas zonas, geram emigrações, como é o caso de: alterações no uso do solo que substituem o uso residencial por atividades industriais, comerciais e de serviços; degradação do meio ambiente produzida por atividades agressivas; envelhecimento da população, localização em sítios sujeitos a inundações, deslizamentos, erosão entre outros (ARANTES, 2001).

2.2.2.3 Atuação do poder público e de investimentos indutores de crescimento

A atuação do poder público e de investimentos indutores de crescimento também freqüentemente produzem intervenções no espaço urbano através da implantação de conjuntos habitacionais e de loteamentos, da transferência de famílias localizadas em áreas de risco, etc., provocando alterações instantâneas na

distribuição da população, além de induzirem o crescimento no futuro imediato (CAMPOS FILHO, 2003; SOUZA, 2003).

2.2.2.4 Situação econômica da população

Existe ainda um caso particular quando a demanda é tomada em relação à categoria administrativa da rede de ensino, no qual um fator extra passa a exercer influência sobre a sua determinação: a situação econômica da população. Nesse caso, a renda da família possui um grande peso na determinação dos alunos que ingressarão na rede pública e na rede particular de ensino, tendo em vista o montante de recursos necessário para financiar o ensino particular.

Os dados do censo realizado pelo IBGE no ano de 2000 sobre o atendimento educacional por redes de ensino e sobre o rendimento da população confirmam esse fato, na medida em que apontavam para um total de 81% do atendimento realizado pela rede pública de educação, ao mesmo tempo em que o rendimento nominal mediano mensal dos trabalhadores era de trezentos reais (R\$ 300,00) e o das famílias, de seiscentos reais (R\$ 600,00) na área urbana. Naquela oportunidade, aproximadamente 89% da população recebiam até cinco salários mínimos³ (IBGE, 2003).

2.2.3 Cálculo da demanda educacional

A demanda educacional é geralmente calculada com base nos dados populacionais categorizados por faixa etária. A demanda atual pode ser obtida diretamente dos dados oferecidos pelo censo demográfico realizado pelo IBGE ou outro levantamento confiável, caso o ano para o qual se está realizando o cálculo coincida com o ano de realização dos levantamentos. Caso contrário, assim como para a determinação da demanda futura, será necessário utilizar as estimativas populacionais, que calculam a demanda resultante do crescimento populacional num momento futuro.

³ O salário mínimo utilizado pelo censo 2000 do IBGE foi de cento e cinquenta e um reais (R\$ 151,00).

O crescimento populacional em qualquer área é o resultado da combinação de três componentes: novos nascimentos, mortes ocorridas e balanço migratório (calculado pela diferença entre imigrações e emigrações). As taxas de natalidade e mortalidade podem ser obtidas a partir de dados dos cartórios de registro civil, ou adaptadas de outras áreas urbanas semelhantes. Existem dois fatores que dificultam a determinação do crescimento populacional: a) a baixa confiabilidade dos dados disponibilizados pelos cartórios, já que nem sempre as famílias registram os nascimentos e mortes no momento da sua ocorrência, na maioria das vezes por razões financeiras e; b) a dificuldade de se prever os fenômenos migratórios (ARANTES, 2001).

Além das dificuldades encontradas na obtenção do crescimento populacional, existe um outro fator que interfere fortemente no cálculo da demanda: as distorções série-idade. Como normalmente ocorrem defasagens entre as séries freqüentadas e as idades normais de freqüentá-las, o cálculo realizado somente com base no crescimento populacional pode não representar com fidedignidade a real demanda. Essa situação é mais grave para o ensino médio, que, diferentemente do ensino fundamental, não possui uma clientela determinada e compulsória, dependendo do rendimento e eficiência internos daquele nível de ensino.

Uma comparação entre as taxas líquida⁴ e bruta⁵ de escolarização no Ensino Fundamental para 1998 (Tabela 1) mostra uma distorção entre as idades dos usuários e o nível de ensino por eles freqüentado, revelando que 26% dos usuários têm mais de 14 anos e, portanto, deveriam estar cursando o Ensino Médio (ARANTES, 2003).

⁴ A taxa líquida de escolarização expressa a proporção de uma coorte etária que se encontra matriculada em um nível de ensino determinado com idades variando de 7 a 14 anos e a coorte de 7 a 14 anos, incluindo apenas alunos com a idade regulamentar para o Ensino Fundamental (ARANTES, 2003).

⁵ A taxa bruta de escolarização é representada pela relação entre a matrícula total de um nível de ensino determinado e a coorte etária a ele correspondente. Para o ensino fundamental considera-se a matrícula de alunos com todas as idades e a coorte etária de 7 a 14 anos, incluindo alunos com todas as idades (ARANTES, 2003).

Taxas	Ensino Fundamental	Ensino Médio	7 a 14 anos	15 a 17 anos
Escol. Líquida	95,0	30,8	-	-
Escol. Bruta	128,1	68,1	-	-
Atendimento	-	-	95,8	81,1

Fonte: ARANTES, 2003 (adaptado).

Tabela 1 – Taxas de escolarização e atendimento.

Por isso, na maioria dos casos, é mais vantajoso operar diretamente com dados reais de matrícula, da clientela potencial⁶ e da população residente em cada unidade de análise (ARANTES, 2001).

Dentre os métodos empregados para estimar dados populacionais estão: método geométrico, método *cohortes survival* e método das componentes demográficas (IBGE, 2004). Além desses, um modelo de fluxos escolares desenvolvido em parceria com a UNESCO também pode ser utilizado em estimativas da demanda educacional. O item 5.3.1 - Cálculo da demanda educacional futura apresentará uma descrição de cada um desses métodos.

As informações resultantes da avaliação da demanda educacional se resumem a um panorama aproximado da quantidade de vagas que a rede educacional deve oferecer. Quando avaliadas isoladamente essas informações não permitem a elaboração de conclusões sobre a qualidade do atendimento oferecido pela rede de estabelecimentos de ensino e sobre a necessidade de uma possível intervenção. Por esse motivo, elas devem ser confrontadas com a capacidade de atendimento da rede escolar revelada pela avaliação da sua cobertura, para que em função do estado de equilíbrio constatado entre oferta e demanda sejam elaboradas propostas de ação sobre a rede de estabelecimentos de ensino.

⁶ A clientela potencial pode ser determinada com base nas projeções elaboradas por Ruben Klein para cada estado brasileiro: Análise do sistema escolar do Brasil. Brasília, MEC/SEMTEC, 2000.

2.2.4 Avaliação da cobertura educacional

2.2.4.1 Avaliação quantitativa da cobertura educacional

A primeira avaliação da cobertura educacional possui caráter quantitativo e abrangência global. Parte-se de uma verificação para constatar em que medida as políticas gerais de cobertura estão sendo atendidas pelos sistemas educacionais em termos do número de vagas (ARANTES, 2001).

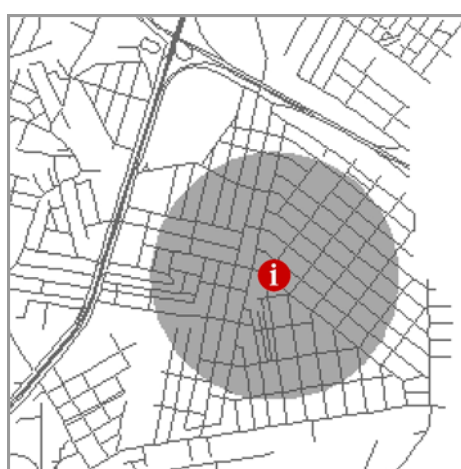
Para determinar o nível de cobertura educacional de cada unidade de análise, devem ser confrontados os dados sobre a matrícula existente, a clientela potencial estimada e a capacidade de atendimento dos prédios existentes diferenciada por níveis de ensino, para uma primeira avaliação sobre o tipo de intervenção a ser realizada. Pode ser constatada a necessidade de implantação de novos prédios, de ampliação dos prédios existentes ou de alguma ação de reordenamento da rede escolar.

2.2.4.2 Avaliação espacial da cobertura educacional



A avaliação quantitativa deve ser complementada pela avaliação espacial da cobertura, na qual são calculados diversos indicadores que fornecem informações gerais da oferta educacional em relação à população residente em determinadas áreas. Normalmente, eles informam quantos, dentre os possíveis habitantes de uma zona, poderiam ser atendidos, mas não informam se a clientela nela residente realmente freqüenta os estabelecimentos aí localizados. Dessa forma, o resultado dos indicadores poderá apontar para a existência de áreas superatendidas ao lado de outras subatendidas, situação que não ocorre na realidade (ARANTES, 2001).

Um dos motivos para isso é que em muitas situações um estabelecimento de ensino pode estar superlotado por receber clientela proveniente de locais distantes, onde existem estabelecimentos com oferta de vagas. Outra possibilidade, é ocorrer, próximo a um estabelecimento que opera em regime de superlotação, outro que apresenta ociosidade decorrente de fatores diversos, como más condições físicas do prédio, entorno com problemas ambientais, má gestão, dificuldades no relacionamento social com a comunidade, etc. (ARANTES, 2001).

Existem diversos métodos de avaliação da cobertura espacial. Um dos mais utilizados pela sua facilidade de aplicação consiste na determinação do que se chamará neste trabalho de **raio de abrangência teórico** de cada estabelecimento. O raio de abrangência teórico é a área (Figura 2.1 (a)) ou extensão (Figura 2.1 (b)) ao redor de cada estabelecimento de ensino para a qual ele deve oferecer seu serviço. Ele determina a demanda que deveria ser atendida considerando-se a proximidade como critério de alocação dos estudantes à escola e admitindo-se que não exista nenhuma condição que dificulte ou mesmo impeça o trajeto casa/escola ao longo de uma determinada distância.





Legenda

-  Estabelecimento de ensino
- Sistema viário
-  Raio de abrangência

(a) Por área



Legenda

-  Estabelecimento de ensino
- Sistema viário
-  Raio de abrangência

(b) Por extensão

Figura 2.1 – Raio de abrangência teórico.

Dessa forma, o cálculo do raio de abrangência depende de três fatores: da clientela potencial, da densidade demográfica e da capacidade de atendimento do estabelecimento. Por outro lado, ele não deve exceder uma distância e um tempo de deslocamento máximos normalmente definidos pelas normas de acessibilidade. Para áreas rurais a recomendação é que o tempo do deslocamento casa/escola não exceda 45 minutos e que a distância não ultrapasse os 1500 metros. Em áreas urbanas admite-se como razoável um tempo de deslocamento casa/escola de 20

minutos e uma distância de aproximadamente 800 metros⁷ (GUIMARÃES, 2004; CAMPOS FILHO, 2003).

No caso da rede pública de ensino, principalmente, os estabelecimentos de ensino devem possuir um raio de abrangência tal, que viabilize a realização do percurso casa/escola a pé, sem que o usuário sofra desgastes físicos excessivos e seja colocado em situações que ameacem sua segurança. Tanto o desgaste físico quanto a segurança são influenciados pela idade do usuário, sendo que o seu efeito se torna mais ameno nas idades mais avançadas. Por isso, recomenda-se uma diferenciação nos valores dos raios de abrangência para que estes se adaptem às particularidades de cada faixa etária.

É importante que no cálculo do dimensionamento e da distribuição espacial da rede de ensino os raios de abrangência sejam determinados objetivando a eliminação da necessidade de utilização de meios de transporte motorizados, visto que o gasto com transporte é tido como um dos fatores que inviabilizam o acesso da população à escola pública. Como já mencionado anteriormente, a renda média das famílias que matriculam seus filhos em estabelecimentos públicos de ensino (seiscentos reais) na maioria das vezes é insuficiente para arcar com gastos educacionais extras.

Outro método consiste na determinação do que se chamou neste trabalho de **raio de abrangência aproximado** dos estabelecimentos de ensino. Ele se inicia com a divisão do mapa da área de estudo em zonas escolares, e destas em unidades de análises menores, os setores, cujas dimensões irão depender da existência de barreiras físicas e do tamanho das zonas (Figura 2.2). Em seguida deve ser identificada a distribuição espacial da demanda, através do endereço dos alunos (ARANTES, 2001).

⁷ Esse valor foi obtido considerando-se que o deslocamento seja realizado a pé a uma velocidade média de 3 km/h ao longo de um espaço não-linear.

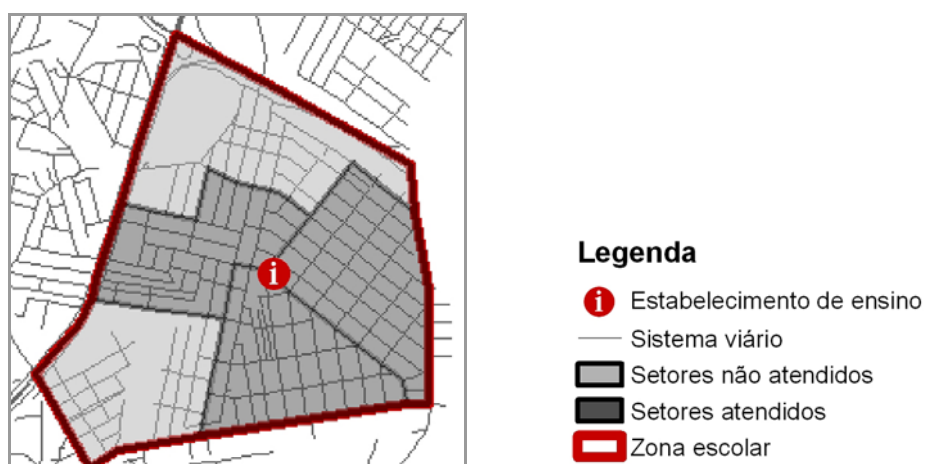


Figura 2.2 – Raio de abrangência aproximado.

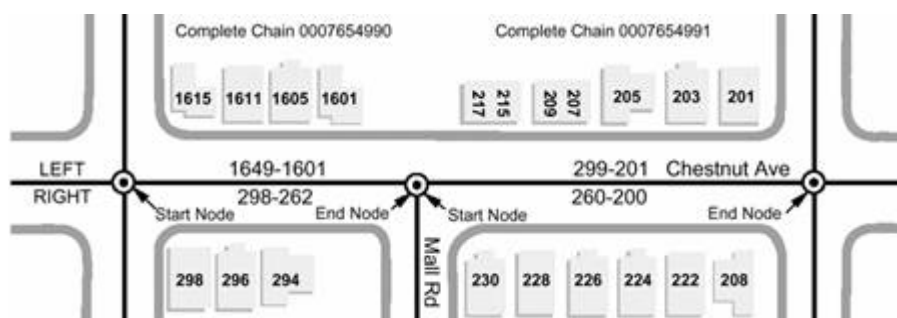
Como normalmente é difícil localizar as residências através de endereço, pode-se utilizar como recurso a identificação e localização no mapa, de elementos de referência dos moradores (igrejas, prédios públicos, acidentes geográficos, etc.), já que nas áreas periféricas nem sempre os logradouros públicos são conhecidos pelos nomes oficiais. O próximo passo é identificar em cada zona, a quantidade de alunos residentes em cada setor, a distância média do setor à escola e os meios de locomoção utilizados. O tempo de deslocamento pode ser calculado a partir da informação sobre o horário de saída da residência comparado com o horário de início das aulas.

Pelo fato de estar se referindo ao setor, o levantamento descrito acima não oferece uma visão sobre as questões reais de atendimento territorial, por isso o raio de abrangência é dito aproximado. Para esse fim, o método mais adequado é o levantamento dos locais de residência de cada aluno matriculado nas escolas existentes em cada zona, que oferece dados mais detalhados sobre tempo de deslocamento, meios de locomoção e barreiras físicas transpostas (ARANTES, 2001).

Um método que permite determinar o que se considerou aqui **raio de abrangência real** da rede de estabelecimentos de ensino é a técnica de endereçamento (*Address Matching*), disponível em alguns softwares de Sistemas de Informações

Geográficas⁸ comerciais. Ela consiste em localizar elementos (clientela da rede de estabelecimentos de ensino) numa base espacial (mapa) através das informações relativas ao seu endereço, contidas numa base de dados não-espacial (tabela) (DRUMMOND, 1995). Com isso, abre-se a possibilidade de espacializar uma série de bancos de dados que normalmente não têm a componente espacial, como é o caso dos cadastros de alunos nas escolas.

A aplicação dessa técnica depende da existência de uma base espacial bastante desagregada de qualidade, vinculada a um banco de dados de endereçamento atualizado e confiável, além do acesso aos endereços dos alunos, que devem estar armazenados em um banco de dados num formato compatível com o do banco de dados de endereçamento vinculado à base espacial (Figura 2.3).



Fonte: U.S. CENSUS BUREAU (1999).

Figura 2.3 - Base de dados de referência - trechos de logradouro.

Essas exigências tornam a utilização dessa técnica inviável para muitos, dado o alto investimento, financeiro, e em recursos humanos e materiais, necessário para a construção da base espacial e dos bancos de dados. No entanto, as vantagens advindas do uso do *Address Matching* para a avaliação da cobertura espacial da educação são inúmeras.

Uma das vantagens mais importantes é o grau de refinamento oferecido pelas análises sobre a cobertura educacional, que permite captar com maior fidelidade o real comportamento da distribuição da demanda ao longo da rede de estabelecimentos de ensino e, conseqüentemente, a real cobertura oferecida (Figura

⁸ Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) serão tratados mais adiante, no item 4.3 - Sistemas de Informações Geográficas.

2.4). Com isso é possível, dentre outras coisas, eliminar as distorções presentes nos resultados da avaliação quantitativa da cobertura educacional mencionadas anteriormente. As ações elaboradas com base nessas análises também passam a produzir resultados mais próximos do esperado, aumentando a satisfação de técnicos e da própria população com o desempenho da rede educacional.

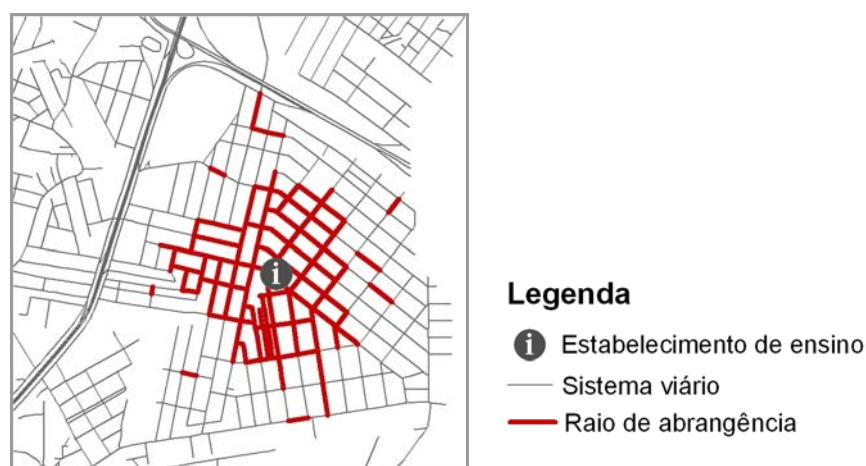


Figura 2.4 – Raio de abrangência real.

Assim, as informações fornecidas por um levantamento como o descrito acima, são importantes sob diversos aspectos. Do ponto de vista da cobertura espacial, essas informações indicam quem está sendo efetivamente atendido. Do ponto de vista das preferências da população, os dados sobre as distâncias percorridas podem fornecer informações sobre a atratividade das escolas, ou seja, até que ponto a clientela está disposta a se deslocar para frequentar as escolas, entre outros.

3 O espaço urbano e a localização de estabelecimentos de ensino

A escolha do local mais apropriado para a implantação de um estabelecimento de ensino na estrutura urbana é uma importante consideração a ser feita tanto pela administração pública quanto pela comunidade. Tal decisão, além de envolver investimentos financeiros significativos, resulta na execução de projetos de vida útil bastante longa, que afetarão o rendimento do sistema educacional e as oportunidades de acesso dos usuários por um extenso período de tempo.

Dessa forma, o local de implantação de uma escola e o seu entorno devem contribuir positivamente para a saúde, segurança e aspectos sociais da vida da criança e do jovem na escola. Um ambiente bem desenvolvido e bem equipado é condição básica para uma educação de qualidade, sobretudo diante da tendência cada vez mais forte dos programas educacionais de incluir várias atividades desenvolvidas fora dos muros dos estabelecimentos de ensino. Diante disso, áreas bem planejadas ao redor da escola se tornam cada vez mais importantes para viabilizar a realização das atividades extra-classe garantindo segurança às crianças.

No entanto, para atender essas exigências, a escolha do local de implantação de uma escola deve ser baseada em um estudo cuidadoso, que inclua uma análise técnica e eficiente, direcionada principalmente aos princípios básicos envolvidos na seleção de um bom local (ARANTES, 1986). Dentre esses princípios, a competição intra-específica entre serviços e a demografia têm sido consideradas como fatores primários no processo de tomada de decisão para a escolha do local de implantação de serviços públicos pelos estudos tradicionais realizados nessa área (LANTER et al, 1994 apud JONES; MARTIN, 2003). Além desses, outros fatores que causam impacto sobre o local de implantação de uma escola e que devem ser explorados na análise locacional são: segurança, condições ambientais, sistema viário, topografia, hidrografia, acessibilidade, infra-estrutura básica, aceitação pública, etc. (ARANTES, 2001; GEORGIA DEPARTMENT OF EDUCATION, 2003; CALIFORNIA DEPARTMENT OF EDUCATION, 2000; PETTIT; PULLAR, 2003).

Com base nesses aspectos, e em outros que se façam necessários dependendo das particularidades da área em estudo, a análise locacional deve ser capaz de produzir as informações mínimas necessárias para orientar as ações a serem empreendidas sobre a rede escolar. Normalmente, as informações indispensáveis para a definição de alternativas de ação sobre a rede escolar que devem ser levantadas pela análise locacional são: as áreas de atendimento efetivo, as distâncias casa/escola percorridas pelos alunos, a compatibilidade dimensional entre a clientela atendida e a capacidade de atendimento, a localização dos estabelecimentos em relação às redes viárias, as condições de acessibilidade física, etc. (ARANTES, 1986).

A partir dessas informações, então, devem ser estabelecidas as políticas de distribuição espacial do atendimento educacional e tomadas as decisões sobre a instalação de novas unidades escolares e sobre a desativação ou readaptação de unidades existentes (ARANTES, 1986).

3.1 Redes de estabelecimentos de ensino e o espaço urbano

Segundo Arantes (2001, p. 58) o espaço urbano pode ser considerado como:

[...] o resultado da interação entre um sítio físico, com determinadas características topográficas, hidrográficas e geológicas, e um conjunto de atividades residenciais e não-residenciais, medidas pela intervenção do poder público que, ora limita o comportamento das atividades através da

legislação, ora estimula e direciona através de investimentos que alteram o próprio sítio físico, removendo elementos inibidores do crescimento.

Esse espaço mantém uma estreita e particular relação com as redes escolares. No período de vida útil de um estabelecimento de ensino, o espaço urbano no qual ele se insere está sujeito a várias transformações, podendo ser alteradas as relações entre a rede escolar e a clientela. O espaço urbano em processo de crescimento passa por fases de diferenciação, especialização, segregação, expansão, deterioração, renovação, etc. Em cada uma delas são alteradas as atividades residenciais e não-residenciais, a população que gera a demanda escolar, as condições de acessibilidade, entre outros fatores. (ARANTES, 2001).

Por esse motivo, o estudo da dinâmica da estruturação e do crescimento do espaço urbano torna-se de vital importância. Através dele é possível direcionar melhor os investimentos em projetos de curto, médio e longo prazos sobre a rede escolar para as áreas que os necessitem naqueles períodos (ARANTES, 2003). Também se pode planejar a expansão da rede escolar com base no conhecimento do comportamento futuro da dinâmica do espaço em determinada área, evitando que projetos caros não apresentem os resultados esperados em razão de modificações imprevistas.

3.2 Fatores que afetam a relação dos estabelecimentos de ensino com o espaço urbano

Tão importante quanto conhecer a dinâmica urbana é conhecer seus elementos geradores, já que são estes que determinam a lógica de estruturação do espaço e a partir de intervenções sobre eles é que se pode direcionar o processo de estruturação para o padrão desejado.

De maneira geral, os fatores que afetam o local de implantação de um estabelecimento de ensino e o seu entorno podem ser agrupados em três categorias: elementos físicos e ambientais, legislação urbanística e acessibilidade.

3.2.1 Elementos físicos e ambientais

Os elementos físicos e ambientais que serão explorados neste trabalho são: elementos fisiográficos, atividades, infra-estrutura básica, sistema viário e condições ambientais.

3.2.1.1 Elementos fisiográficos

Os elementos fisiográficos que influenciam a localização de um estabelecimento de ensino são principalmente os elementos topográficos e hidrográficos. Os primeiros podem ser: elevações, depressões, fundos de vales, encostas, etc. E os segundos podem ser: rios, córregos, lagos, canais, cursos d'água, reservatórios superficiais, etc (ARANTES, 2001; GEORGIA DEPARTMENT OF EDUCATION, 2003; CALIFORNIA DEPARTMENT OF EDUCATION, 2000).

Esses elementos afetam diretamente a localização de escolas pelo fato de atuarem como barreiras físicas que dificultam a realização segura do trajeto casa/escola ou mesmo o inviabilizam, dependendo da faixa etária da clientela atendida pelo estabelecimento. Dessa forma, tanto o local de implantação de uma escola quanto o seu raio de abrangência devem ser preferencialmente livres dessas barreiras. No entanto, nos casos em que a ausência dessas barreiras for inviável, devem existir elementos de segurança (como pontes, passarelas, passagens para pedestres, etc.) que amenizem ou eliminem seus efeitos sobre o trajeto escolar.

3.2.1.2 Atividades

As atividades desenvolvidas no espaço urbano normalmente estabelecem uma relação ou de complementariedade ou de concorrência com os estabelecimentos de ensino.

No primeiro caso, as atividades atendem clientelas com características semelhantes às dos estabelecimentos de ensino, oferecendo serviços que não causam impactos sobre o ambiente de ensino e que, em algumas ocasiões, podem até complementar as atividades educacionais. A configuração de uma relação de complementariedade está condicionada ao nível de ensino oferecido pela escola, ou seja, à faixa etária da clientela atendida. Entretanto, os postos de saúde, as praças, as quadras de esporte e os centros comunitários são normalmente exemplos de atividade que complementam a atividade educacional independentemente do nível de ensino.

A proximidade da escola a um posto de saúde oferece segurança para os pais e até mesmo para a própria escola, já que no caso de uma emergência médica seus próprios funcionários, mediante autorização dos pais, terão condições de

encaminhar o aluno para atendimento. Além disso, os pais dos alunos ganham em comodidade, pois com a realização de uma só viagem conseguem levar seus filhos ao médico e à escola.

As praças e quadras de esporte podem em alguns casos funcionar como um prolongamento da escola, onde se realizam as atividades físicas e recreativas eliminando a necessidade da construção de equipamentos esportivos e de lazer nas dependências internas do estabelecimento de ensino. Contudo, para que isso ocorra devem ser observadas as normas referentes às dimensões, tipo e número de equipamentos, segurança, distância máxima entre a escola e a praça ou quadra esportiva e outros aspectos que garantem a segurança dos alunos e a qualidade da atividade desenvolvida.

Já no caso da relação de concorrência entre um estabelecimento de ensino e outra atividade, duas situações podem ocorrer: a concorrência se estabelecer com o mesmo tipo de atividade, ou seja, com outra escola; a concorrência se estabelecer com outro tipo de atividade que cause impactos sobre o ambiente de aprendizagem ou sobre a realização do trajeto casa/escola.

A primeira situação gera competição intra-específica entre estabelecimentos, considerada prejudicial para a efetividade da rede escolar e das próprias unidades (ARMSTRONG et al., 1993 apud JONES; MARTIN, 2003), na medida em que pode se estabelecer um quadro de ociosidade em uma das escolas e de superlotação em outras, como já mencionado no item 2.2 - Cobertura e demanda educacionais. Também é possível que usuários estejam percorrendo grandes distâncias para ter acesso à escola, em função da concentração desse serviço em determinados pontos.

A segunda situação provoca competição entre a escola e atividades que possuem características de funcionamento, clientela e exigências espaciais distintas. Exemplos dessas atividades que causam incomodidades ao ambiente de ensino são: hospitais de grande porte, cemitérios, supermercados, shoppings centers, postos de gasolina, aeroportos, centrais de transmissão de energia, depósitos de substâncias tóxicas, etc. (GEORGIA DEPARTMENT OF EDUCATION, 2003; CALIFORNIA DEPARTMENT OF EDUCATION, 2000). Logo, tanto o local de

implantação de um estabelecimento de ensino quanto o seu raio de abrangência devem ser resguardados de quaisquer dessas atividades, como forma de garantir a segurança dos usuários na realização do trajeto casa/escola, especialmente quando realizado a pé, e a qualidade do ambiente educacional.

3.2.1.3 Infra-estrutura básica

No que se refere à infra-estrutura básica, a sua presença no local de instalação de um estabelecimento de ensino é um fator imprescindível. A existência de infra-estrutura básica, aqui considerada como rede de água, de esgoto sanitário e pluvial e de energia elétrica, é que garante as condições mínimas exigidas para o funcionamento de um estabelecimento que atende crianças e jovens por um longo período de tempo (ARANTES, 2001; GEORGIA DEPARTMENT OF EDUCATION, 2003; CALIFORNIA DEPARTMENT OF EDUCATION, 2000).

O abastecimento de água é fundamental para o consumo dos alunos, para o preparo da merenda, para o funcionamento dos sanitários, para a limpeza do estabelecimento, etc. A rede de esgoto é necessária para realizar a destinação adequada da água utilizada e dos rejeitos produzidos no local, sem que haja danos ao meio ambiente. E a rede de energia elétrica é essencial para o funcionamento de equipamentos de apoio (como retroprojetores, fotocopiadoras, computadores, etc.) e para garantir a iluminação adequada do ambiente de estudo. Outro serviço de suma importância no local de implantação de uma escola é a coleta de lixo, visto que a grande quantidade de resíduos produzida diariamente nesse tipo de estabelecimento deve ter uma destinação adequada. A coleta é necessária não só devido a fatores ambientais, mas para evitar que os alunos entrem em contato com o lixo em razão de um acondicionamento inadequado.

3.2.1.4 Sistema viário

O sistema viário deve oferecer ao mesmo tempo acessibilidade e segurança a seus usuários na realização do trajeto casa/escola (ARANTES, 2001; 1986; GEORGIA DEPARTMENT OF EDUCATION, 2003; CALIFORNIA DEPARTMENT OF EDUCATION, 2000). Portanto, a via em que está localizado o estabelecimento educacional e as vias que estiverem compreendidas no seu raio de abrangência devem ter um fluxo de veículos e velocidade controlados, boa sinalização e passeios

amplos, entre outras características que garantam facilidade e segurança no movimento de entrada e saída da escola.

De maneira geral, essas exigências são atendidas quando o estabelecimento de ensino é implantado numa via local ou coletora. Não é recomendando que uma escola seja implantada em vias arteriais, visto que essa hierarquia viária é destinada a passagem de tráfego pesado. A observância dessas condições torna-se especialmente importante quando o estabelecimento atende ao ensino infantil e fundamental. Por outro lado, se a escola atende ao nível de ensino médio, é recomendado que a via que a abrigue esteja próxima de uma via pela qual passem linhas de transporte coletivo, normalmente uma via arterial.

3.2.1.5 Condições ambientais

Finalmente, as condições ambientais como consideradas neste trabalho se referem aos seguintes fatores: existência de focos de poluição de todas as naturezas (sonora, atmosférica, hídrica, por resíduos, etc.), declividade, áreas alagáveis e inundáveis, áreas sujeitas a deslizamentos, áreas com condições geotécnicas frágeis, etc. Assim, o local de implantação de um estabelecimento de ensino e o seu entorno devem ser completamente livres da influência de focos de poluição de qualquer natureza e da presença de áreas que estejam sob risco de deslizamento, alagamento e inundações, sob pena dos usuários sofrerem danos à saúde no trajeto casa/escola e no próprio ambiente educacional (ARANTES, 2001; 1986; GEORGIA DEPARTMENT OF EDUCATION, 2003; CALIFORNIA DEPARTMENT OF EDUCATION, 2000). Áreas com declividade acima de 15% também são consideradas impróprias para a implantação de unidades educacionais (FERRARI, 1978 apud ARANTES, 2001).

3.2.2 Acessibilidade

3.2.2.1 Definições

A acessibilidade pode ser definida como uma medida de separação espacial das atividades humanas, fundamentada na premissa de que o espaço restringe o número de oportunidades nele disponíveis (MORRIS; DUMBLE; WIGAN, 1979; GUTIÉRREZ; MONZÓN; PIÑERO, 1998).

Numa visão mais atual, Mackiewicz e Ratajczak (1996) encaram a acessibilidade espacial como um agente gerador do processo de reorganização espacial, por meio do qual os setores urbanos assumem seu papel funcional no sistema como um todo, em decorrência da alteração de sua conectividade relativa.

3.2.2.2 Acessibilidade e planejamento locacional de estabelecimentos educacionais

Uma das características essenciais do sistema escolar diz respeito ao acesso dos estudantes às escolas. Pelo fato desses estudantes serem, na maioria, jovens ou crianças, a sua resistência a grandes deslocamentos e à superação de barreiras físicas ainda é limitada. Desse modo, a distribuição espacial dessas escolas e as facilidades de deslocamento associadas à rede de transportes são aspectos que precisam ser levados em conta no planejamento locacional de equipamentos educacionais e na análise das oportunidades de acesso dos estudantes às unidades escolares (ALMEIDA, 1999).

Arantes (2001) argumenta que não basta haver uma oferta de serviços educacionais, mais do que isso, é necessário que tais serviços sejam acessíveis à clientela que pretendam atender. Da mesma forma, não é suficiente uma cobertura quantitativa ampla, isto é, oferta de vagas em número suficiente para atender à clientela potencial, se ocorrem distorções na distribuição da oferta educacional em relação à distribuição da clientela no espaço. Daí poderá nascer uma oferta suficiente, porém inacessível.

Por essa razão, o planejamento da rede de equipamentos educacionais deve considerar que a qualidade de vida e o processo de inserção urbana dos indivíduos dependem da disponibilidade de infra-estrutura, não apenas no que tange à existência desta, mas também à sua adequação às possibilidades do usuário e, principalmente, à sua localização e distribuição eqüitativa no espaço urbano, dentro de limites de distância julgados adequados (PINHEIRO, 1994).

3.2.2.3 Medidas de acessibilidade

A acessibilidade é medida por indicadores que diferem entre si pelas variáveis que incorporam e pela abordagem dada a essas variáveis, bem como pela interpretação das relações estabelecidas entre elas. A seguir serão apresentados quatro tipos de

indicadores de acessibilidade, que se acredita sejam aplicáveis à questão da localização de estabelecimentos de ensino: a) indicadores de separação espacial; b) indicadores de custo médio; c) indicadores gravitacionais e; d) indicadores configuracionais.

■ *Indicadores de separação espacial*

Esses índices representam características de separação espacial de uma rede de transportes; com base apenas na distância, tempo ou custo, sem considerar atratividade zonal (RAIA JR.; SILVA; BOCANEGRA, 1999).

Ingram (1971 apud Almeida, 1999.) utilizou os conceitos de acessibilidade relativa e acessibilidade integral para propor duas medidas de acessibilidade. A primeira forma de acessibilidade descreve a relação ou grau de conexão entre dois pontos quaisquer, enquanto a segunda explica a relação ou grau de conexão entre um ponto e os demais num dado conjunto espacial de pontos (MORRIS; DUMBLE; WIGAN, 1979).

Para medir a acessibilidade relativa, Ingram utilizou uma expressão simplificada:

$$A_{ij} = C_{ij} \quad (3.1)$$

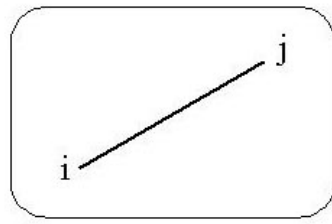
Onde:

A_{ij} = acessibilidade relativa da zona de origem i em relação à zona de destino j ;
 C_{ij} = distância (Euclidiana, retangular ou efetiva), tempo de viagem ou custos de viagem entre as zonas i e j .

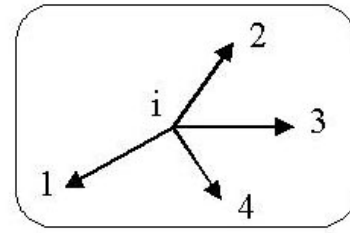
A acessibilidade integral foi definida pelo mesmo autor como a média entre as distâncias, tempos ou custos de viagem de uma origem i para os n destinos existentes na área de estudos, expressa por:

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^n C_{ij}}{n} \quad (3.2)$$

Uma comparação das definições de acessibilidade estabelecidas por Ingram é ilustrada na figura a seguir:



(a) Acessibilidade relativa



(b) Acessibilidade integral

Fonte: Almeida (1999).

Figura 3.1 – Formas de acessibilidade.

■ Indicadores de custo médio

Essas medidas se tornaram conhecidas através de Toregas et al. (1971 apud Almeida, 1999) e determinam, por meio do custo médio, a acessibilidade de uma zona i para atingir os n destinos:

Utilizando um modelo gravitacional simplesmente restrito para averiguar sistemas de saúde urbanos e regionais, Mayhew e Leonardi (1982 apud Almeida, 1999) estimaram a acessibilidade da seguinte maneira:

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^n T_{ij} (C_{ij} - \bar{C})^2}{\sum_{j=1}^n T_{ij}} \quad (3.3)$$

Onde:

C_{ij} é custo generalizado de viagem entre o par (i, j) ;

T_{ij} é o número de viagens (fluxo) entre o par origem-destino (i, j) ;

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} T_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n T_{ij}}$$

■ Indicadores gravitacionais

Estes são índices muito conhecidos, derivados do modelo gravitacional⁹ e largamente utilizados em planejamento de transportes (RAIA JR.; SILVA;

⁹ O modelo gravitacional é uma das variações da classe de modelos de interação espacial, que será apresentada com maiores detalhes no item 4.2.4.2 - Modelos de interação espacial.

BOCANEGRA, 1997) para investigar a eqüidade na distribuição dos serviços urbanos (ALMEIDA, 1999). A acessibilidade é determinada fundamentalmente pela combinação dos efeitos gerados por transportes e uso do solo (SALES FILHO, 1997).

Medidas originárias do trabalho de Hansen (1959 apud Almeida, 1999) avaliam as oportunidades existentes em uma zona de destino pela função de impedância relacionada ao custo generalizado de viajar da zona i à zona j .

$$A_i = \sum_{j=1}^n k W_j f(C_{ij}) \quad (3.4)$$

Onde:

A_i é a acessibilidade da zona i ;

W_j é o número de oportunidades da zona j (atratividade da zona j);

$f(C_{ij})$ é uma função de impedância entre as zonas i e j , dada por $f(C_{ij}) = \frac{1}{(C_{ij})^2}$

para áreas rurais e por $f(C_{ij}) = e^{-\beta \cdot C_{ij}}$ para áreas urbanas;

C_{ij} é a distância entre as zonas i e j ;

k é o parâmetro a ser calibrado;

n é o número de zonas da área de estudo;

■ Indicadores configuracionais

Esses indicadores derivam dos modelos configuracionais. Essa classe de modelos explora a importância das características do traçado sobre o comportamento do sistema urbano. Nesse contexto, o espaço urbano é visto como um sistema diferenciado, configurado em suas diversas instâncias por ações individuais.

Dentro dessa classe, existem dois modelos cujos respectivos indicadores merecem ser destacados: a centralidade, originada do modelo configuracional de centralidade espacial; a integração, originada do modelo configuracional de sintaxe espacial.

A **Centralidade** pode ser definida como “*uma propriedade dos espaços públicos que consiste na capacidade de fazer parte dos menores caminhos entre todos os pares de forma construída em um sistema urbano*” (KRAFTA, 1994, p. 70). Ela está fundamentada em dois princípios básicos. O primeiro, determina que toda edificação

pode ser alcançada a partir de qualquer outra edificação, através do sistema de espaços públicos. E o segundo, define que cada espaço desempenha um papel distinto no sistema, definido em função do grau de interação entre edificações que ele proporciona, tendo em vista a heterogeneidade da conectividade do traçado e da distribuição das edificações. Em outras palavras, alguns espaços podem ser mais centrais que outros.

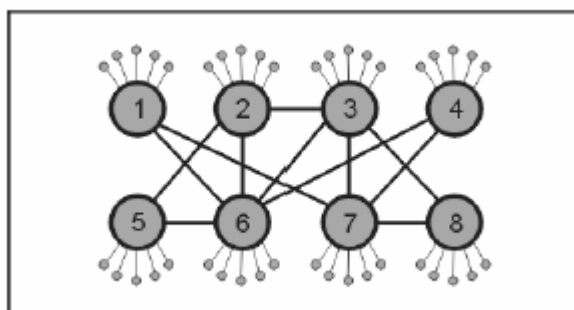
De maneira geral, um espaço pode ser dito de alta centralidade em um sistema urbano se ele for capaz de realizar, de forma mais intensa que outros espaços, os seguintes papéis (KRAFTA, 1994):

1. ser um pólo gerador de tensões que serão irradiadas a outras porções do sistema;
2. ser um destino para as tensões geradas por outros pólos do sistema e;
3. fazer parte dos caminhos mínimos que unem outros pares de origem/destino de tensões.

As variáveis fundamentais consideradas na construção da medida de centralidade são os espaços públicos abertos¹⁰ e as formas edificadas. Os espaços públicos podem ser representados no modelo de centralidade por dois elementos: a) linhas axiais, que são as maiores linhas retas capazes de cobrir todo o sistema de espaços públicos ou; b) trechos de logradouros, representados pelas porções dos eixos de logradouros localizadas entre duas interseções, ou entre uma interseção e uma extremidade do eixo. Já as formas edificadas podem ser representadas por: a) unidades de forma construída (BUFs), que são espaços construídos independentes, como casas, apartamentos, lojas e fábricas; ou b) constituição, que é o número de portas que se abrem para o espaço público.

As relações que, segundo o modelo, se estabelecem entre os espaços públicos abertos e as formas edificadas são a permeabilidade e a conectividade. A primeira se caracteriza pela possibilidade de transição de um espaço público aberto para

uma forma edificada e vice-versa. A segunda ocorre entre os espaços públicos. Uma terceira relação, a alcançabilidade entre edificações, apesar de não poder ser diretamente representada, constitui-se em uma das premissas básicas da teoria da Centralidade (KRAFTA, 1994). Ela pode, entretanto, ser apreendida de um grafo que represente o sistema (Figura 3.2). Um grafo urbano se constitui em uma estrutura de representação simplificada do espaço urbano, na qual elementos dos espaços públicos abertos e construídos são representados por nós e as relações entre estes espaços, denominadas adjacências, são reproduzida através de linhas (JIANG; CLARAMUNT; BATTY, 1999).



Fonte: SABOYA (2001).

Figura 3.2 – Grafo de espaços públicos e edificações.

Conforme o grafo da figura 3.2, os espaços públicos estão representado pelos círculos maiores, e as edificações pelos pontos; as relações de permeabilidade pelas linhas mais finas que ligam os pontos aos círculos e as relações de conectividade pelas linhas mais grossas que ligam círculos entre si. Dessa maneira, uma edificação com permeabilidade para o espaço 1 pode alcançar outra edificação localizada no espaço 2 (e portanto não adjacente) através do espaço 6.

Para calcular a medida de centralidade, o modelo considera a relação entre pares de edificações como uma “tensão”. Dois tipos de tensões são levados em consideração pelo modelo:

¹⁰ Por espaços públicos abertos entende-se o sistema viário, as praças, as áreas verdes e outros espaços de domínio público contidos na estrutura urbana.

1. A originada das tensões entre formas construídas localizadas no mesmo espaço público, chamada tensão interna (t^I);
2. A criada por formas construídas localizadas em espaços diferentes (t_{ij}), o que cria o conceito de “*betweenness*”.

A tensão interna é calculada a partir da equação (KRAFTA, 1994):

$$t^I = \frac{n \cdot (n-1)}{2} \quad (3.5)$$

Onde n = número de edificações em um mesmo espaço.

E a tensão (t_{ij}) de um espaço k é definida pela equação (KRAFTA, 1994):

$$t_{ij}(k) = \sum_{\substack{i,j \\ i < j}}^n \frac{f_i f_j}{n} \cdot p \quad (3.6)$$

Onde:

f_i, f_j = atributos de forma construída em i e j ;

n = número de segmentos que compõem os caminhos mínimos;

p = número de vezes que o espaço k faz parte dos caminhos mínimos.

O modelo admite que o caminho realizado para ir de um espaço a outro é sempre o menor caminho. Assim, inicialmente são calculados os caminhos mínimos para cada par de formas construídas. Em seguida, o produto dos atributos das formas construídas é distribuído de forma igualitária por todos os segmentos que compõem os caminhos mínimos.

O índice de Centralidade ($C(k)$) de cada espaço é calculado pela soma da sua própria tensão interna (t^I) com o somatório das porções de tensão atribuídas a todos os caminhos mínimos do qual ele faz parte ($t(k)$), conforme a equação:

$$C(k) = t^I + t(k) \quad (3.7)$$

Esse índice de Centralidade, no entanto, não permite que sistemas de tamanhos diferentes sejam comparados. Para superar essa limitação, KRAFTA (1994) propôs

a medida de **Centralidade Relativa**, que é calculada com base no valor máximo de Centralidade que um espaço pode assumir em um sistema com um determinado número de espaços no qual a forma construída esteja homogeneamente distribuída. Isso equivale ao espaço central de um grafo semelhante a uma roda de bicicleta. A equação que determina esse valor máximo é:

$$t^{\max} = \frac{L^2}{2}(n-1) + \left(\frac{n^2 - 3n + 2}{2} \right) \quad (3.8)$$

Onde:

L = Número médio de BFUs no sistema;

n = Número de espaços no sistema.

Logo, a Centralidade Relativa de um espaço k será dada pela equação:

$$C^R = \frac{C(k)}{C^{\max}} \quad (3.9)$$

Onde:

C^R = centralidade relativa;

$C(k)$ = centralidade;

C^{\max} = centralidade máxima.

Essas equações levam à obtenção de três medidas de Centralidade, dependendo da utilização ou não da forma construída nos cálculos, e da ponderação ou não dessas formas edificadas. As medidas são: Centralidade Planar, Centralidade Morfológica e Centralidade Real (KRAFTA, 1994).

A **Centralidade Planar** é obtida atribuindo-se peso igual a 1 a todos os espaços do sistema ($f_i = 1$ para todo i), independentemente da quantidade de edificações que possuam. Portanto, apenas a influência da malha viária na Centralidade é avaliada.

A **Centralidade Morfológica** é calculada atribuindo-se valor 1 a todas as edificações do sistema e somando-se os valores referentes a cada espaço. Nesse caso, cada espaço terá um atributo referente à quantidade de edificações que se abrem para ele. Dessa forma, as tensões a serem distribuídas pelo sistema são proporcionais à quantidade de edificações de cada espaço.

A **Centralidade Real** é calculada da mesma maneira que a Centralidade Morfológica, com a única diferença de que, a cada tipo de atividade, são atribuídos parâmetros de ponderação, para que o modelo consiga reproduzir com maior fidelidade as capacidades de atração e geração de tensões de cada uma delas.

O outro indicador de acessibilidade configuracional, a **Integração**, deriva do modelo de Sintaxe Espacial¹¹ criado por Hillier e Hanson (1984). A teoria que sustenta o modelo, chamada de teoria do movimento natural, está fundamentada sobretudo no princípio de que a configuração da malha urbana é o principal mecanismo responsável por gerar, sustentar e controlar padrões de movimento de pessoas e, portanto, de contatos sociais. As atividades localizadas no espaço atuam nesse processo como equalizadores ou multiplicadores do padrão de movimento básico estabelecido pela configuração (HILLIER et al., 1993).

De acordo com ela, os movimentos entre pontos de origem e destino geram um produto adicional, expresso pela seqüência dos espaços atravessados no deslocamento entre estes pontos e chamado de movimento de passagem (VARELA, 1993). A distribuição do movimento de passagem, por sua vez, está condicionada aos efeitos e limitações impostos pela configuração da malha urbana, os quais determinam as rotas mais naturais para o deslocamento de um ponto qualquer para outro com base no nível de articulação das vias comparado com a estrutura global da malha urbana (HILLIER et al., 1993).

A ação da configuração da malha urbana sobre o movimento de passagem é avaliada pelo modelo de sintaxe espacial em termos da medida de integração (HILLIER et al., 1993). A integração leva em consideração as relações entre espaços dentro de um sistema global e define a profundidade média de cada espaço em relação aos demais, de acordo com o número médio de passos topológicos necessários para, a partir de um determinado espaço, alcançar todos os outros, de acordo com a fórmula:

¹¹ A Sintaxe Espacial é um modelo desenvolvido para descrever e analisar padrões relacionados com a realidade física do espaço urbano. Para mais detalhes, ver Hillier e Hanson (1984).

$$MD = \frac{\sum kd}{\sum k} \quad (3.10)$$

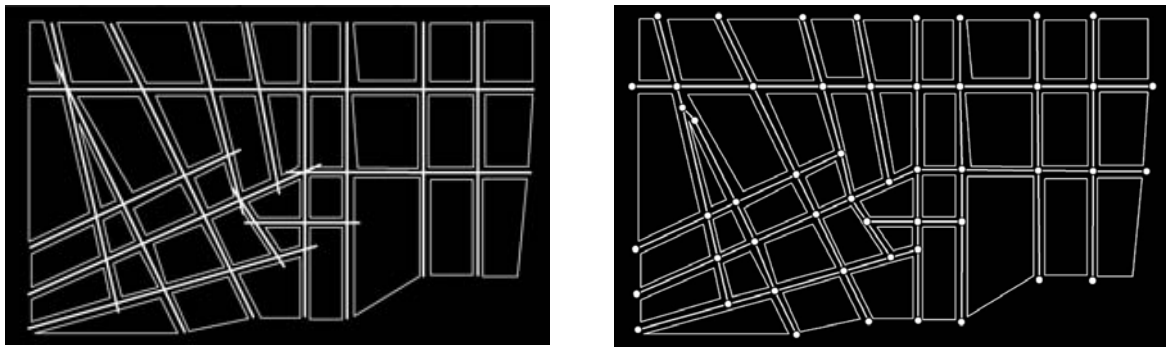
Onde:

MD é a profundidade média;

k é número de espaços à profundidade d ;

Logo, a única variável utilizada pelo modelo de Sintaxe Espacial para o cálculo da integração é o sistema de espaços públicos abertos, representado por linhas axiais, já definidas anteriormente. As linhas axiais têm a função de informar ao modelo direções de visibilidade e movimento ininterruptas.

Dessa forma, elas apresentam algumas diferenças se comparadas aos trechos de logradouro, que representam as vias urbanas. Uma delas é a maneira de representar as interseções entre logradouros: em um mapa axial, ao contrário de um mapa do sistema viário, não basta que as linhas se encontrem em um ponto comum, é preciso que haja um transpasse entre todas as linhas que se comunicam dentro do sistema urbano para que o modelo possa captar a ligação existente entre elas (Figura 3.3). Outra diferença está no critério de inserção de um elemento no mapa: no mapa do sistema viário, pequenas inflexões já colocam a necessidade de se traçar um trecho de logradouro; já no mapa axial, somente se as inflexões provocarem mudanças de direção que prejudicam a visibilidade e orientação ao longo da via é que se traça uma linha axial.

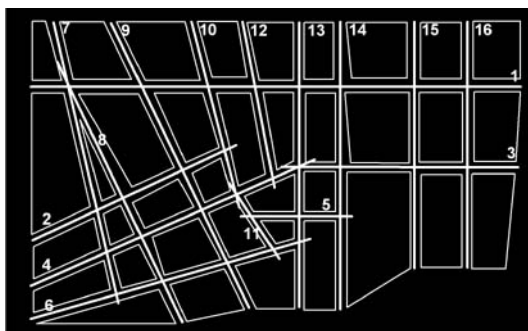


(a) Linhas axiais

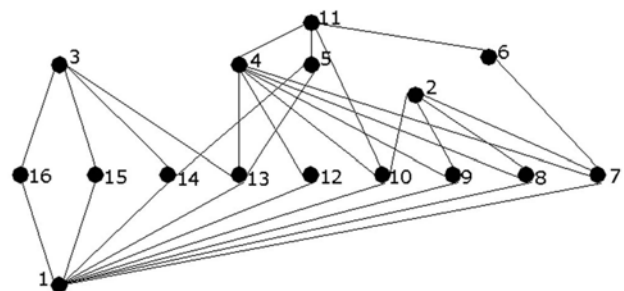
(b) Trechos de logradouro

Figura 3.3 – Formas de representação dos espaços públicos abertos.

A partir das linhas axiais o modelo de Sintaxe Espacial calcula as medidas de Integração. Mas o cálculo não é feito diretamente, antes o modelo transforma o mapa que contém as linhas, chamado de mapa axial, em um grafo que descreve as relações de visibilidade e acessibilidade existentes entre todos os espaços do sistema, como mostra a figura 3.4.



(a) Mapa axial



(b) Grafo

Figura 3.4 – Formas de representação do sistema urbano.

A primeira medida é chamada de **integração local**, por ter validade somente para o sistema a partir do qual é calculada. Ela é determinada de acordo com a equação:

$$I = \frac{k - 2}{2(MD - 1)} \quad (3.11)$$

Onde:

MD = Profundidade média;

k = número de espaços do sistema.

Assim como ocorre no modelo de centralidade, para que se possam realizar comparações entre sistemas que diferem em tamanho é necessário proceder a uma transformação, eliminando distorções nos valores obtidos para a medida (HILLIER; HANSON, 1984).

Essa nova medida recebe o nome de **integração global** e é obtida pela equação:

$$I_G = \frac{D_k(k-2)}{2(MD-1)} \quad (3.12)$$

Onde:

D_k = Constante de comparação para uma base espacial padrão, variável com o número de espaços considerados no sistema.

As medidas de integração vistas até o momento invariavelmente avaliam a acessibilidade das linhas axiais em relação ao sistema de espaços como um todo. No entanto, para determinados estudos esta visão global pode não ser adequada, especialmente naqueles casos em que a análise não se concentra apenas em determinada linha axial, mas também não pretende se estender a todo o sistema (PENN et al., 1998).

A localização de atividades é um caso específico de estudo que se enquadra na questão levantada, já que, normalmente, a cada equipamento urbano é atribuído um raio de abrangência limitado, considerado ideal para que todo cidadão possa acessá-lo sem a necessidade de fazer uso de outro meio de transporte que não o deslocamento a pé. Portanto, a acessibilidade (integração) ideal para análises dessa natureza é aquela obtida somente no raio de abrangência de cada estabelecimento.

Penn et al. (1998) apresentam uma equação para o cálculo da profundidade média de um sistema de raio variável, que substitui o componente MD da equação 3.10, dando origem à **integração de raio limitado**. A profundidade média, $d_n^{média}$, de um dado raio n será:

$$d_n^{média} = \frac{\sum_{r=0}^n kd}{\sum_{r=0}^n k} \quad (3.13)$$

Onde:

k é o número de nós a profundidade d em um grafo no formato de diamante.

A integração de raio restrito é especialmente adequada para identificar os núcleos que estão contidos dentro de uma cidade, pois destaca a importância que cada rua detém em relação a uma porção reduzida da malha viária.

Estudos realizados por Varela (1993) utilizando a Sintaxe Espacial confirmam que propriedades subjacentes da malha urbana, como integração e conectividade, transformam certas ruas em rotas mais lógicas para o movimento natural e, portanto, mais apropriadas para abrigar tipos específicos de atividades urbanas.

3.2.3 Legislação urbanística

A legislação urbanística aqui em questão diz respeito às leis que normalmente compõem um Plano Diretor. Esse instrumento de desenvolvimento urbano é composto por um conjunto de diretrizes a serem seguidas e de metas a serem perseguidas quanto ao uso da terra, ao traçado urbanístico, ao controle da expansão e do adensamento urbanos, à provisão de áreas verdes e ao sistema de circulação (SOUZA, 2003).

O Plano Diretor exerce um papel preponderante na estruturação do espaço urbano pela sua capacidade regulatória e de investimento. Através das leis de zoneamento e de uso e ocupação do solo nele contidas, o poder público disciplina a ocupação do espaço. Dessa forma, o zoneamento normalmente é utilizado para estabelecer uma divisão espacial, visando à separação e ao controle de usos da terra estabelecidos na lei de uso e ocupação do solo (CAMPOS FILHO, 2003; SOUZA, 2003). Os usos geralmente se diferenciam em residencial, misto, comercial e industrial, podendo haver combinações entre eles.

No que diz respeito aos usos não-residenciais, a sua relação com os estabelecimentos de ensino pode gerar incômodos que prejudicam o desempenho de equipamentos educacionais situados nas suas proximidades, como por exemplo: fumo, odores, gases, ruídos, movimentos intensos de carga e descarga, etc. Dessa forma, é fundamental avaliar se existe incompatibilidade entre o local de instalação de um estabelecimento de ensino e as atividades desenvolvidas no seu entorno e

sempre que possível, a seleção do local de implantação de uma escola numa área zoneada para uso comercial ou industrial deve ser evitada (ARANTES, 2001; GEORGIA DEPARTMENT OF EDUCATION, 2003; CALIFORNIA DEPARTMENT OF EDUCATION, 2000).

As áreas industriais apresentam custos muito elevados para aquisição, limpeza e reformas, além de oferecem riscos significativos à saúde e à segurança dos usuários, principalmente os que freqüentam até o 1º ciclo do ensino fundamental. Já, as áreas residenciais apresentam um custo de aquisição de terrenos menor, além de maior adequação da legislação urbanística, constituindo-se em locais potenciais para receber serviços públicos (ARMSTRONG et al., 1993 apud JONES; MARTIN, 2003).

Além do zoneamento, outra maneira pela qual o Plano Diretor pode influenciar a localização de estabelecimentos de ensino na estrutura urbana são as estratégias de estruturação urbana, que buscam dentre outras coisas: planejar o desenvolvimento econômico da cidade e a distribuição espacial da população; otimizar o aproveitamento dos investimentos urbanos já realizados e gerar novos recursos, buscando reduzir progressivamente o déficit social representado pela carência de infra-estrutura urbana, de serviços sociais e de moradia para a população de baixa renda; estimular a reurbanização e qualificação de áreas de infra-estrutura básica incompleta e com carência de equipamentos urbanos e comunitários; implementar os projetos viários prioritários; possibilitar melhoria no abastecimento de água, no esgotamento sanitário e na gestão dos resíduos sólidos, incentivando a implementação de coleta seletiva, drenagem urbana e pavimentação, com prioridade para o atendimento das famílias de baixa renda e promovendo a justiça social.

Dessa forma, através dos investimentos públicos em infra-estrutura urbana, seja na sua criação ou ampliação, o poder público induz a localização de novas atividades, principalmente quando se trata da rede viária e do transporte público, a partir dos quais normalmente ocorre o adensamento da ocupação e o surgimento dos grandes vetores de crescimento. Esses, por sua vez, trazem a necessidade de implantação de equipamentos urbanos e serviços básicos, incluindo estabelecimentos de ensino (ARANTES, 2001).

As políticas de habitação popular são outro importante elemento estruturador do espaço urbano, que o transformam profundamente através da implantação de conjuntos habitacionais, de loteamentos, da transferência de residências de áreas ocupadas ilegalmente para outras em condições legais de ocupação, etc. Principalmente no caso de intervenções de grande porte, a área educacional sofre influências na medida em que o contingente populacional gerado traz a necessidade da implantação de serviços públicos, como a educação. Outra possibilidade é que áreas dotadas de serviços públicos, como educação, saúde e lazer, estimulem a ocupação de lotes vagos existentes ou até o adensamento do local (ARANTES, 2001).

Mais recentemente surgiu um novo canal de ação do Plano Diretor sobre a questão locacional de estabelecimentos de ensino: o Estatuto da Cidade. Trata-se da lei que regulamenta o capítulo de política urbana da Constituição Federal, estabelecendo suas diretrizes gerais e uma série de instrumentos que objetivam principalmente o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e a garantia do direito a cidades sustentáveis (BRASIL, 2001).

O instrumento do Estatuto da Cidade que exerce uma influência mais direta sobre a localização de unidades escolares na estrutura urbana é o chamado Direito de Preempção, que se refere à preferência de aquisição de áreas de interesse por parte do poder público. Sua aplicação pode facilitar o planejamento da localização da rede de equipamentos e serviços básicos municipais, já que os municípios podem, a partir de um diagnóstico prévio, mapear as áreas mais adequadas para abrigar a expansão da sua rede de serviços e requerê-las para a instalação de equipamentos comunitários, espaços públicos e de lazer ou áreas de preservação ambiental, como é o caso das escolas (BRASIL, 2001).

4 Ferramentas computacionais e técnicas empregadas em análises locacionais

4.1 Cadastro técnico multifinalitário

4.1.1 Definição

O Cadastro Técnico Multifinalitário pode ser definido como um sistema de registro dos elementos espaciais que representam a estrutura urbana, constituído por uma componente geométrica e outra descritiva que lhe conferem agilidade e diversidade no fornecimento de dados para atender diferentes funções, inclusive a de planejamento urbano (BLACHUT, 1974).

Segundo Blachut et al. (1980), são três as funções básicas de um cadastro urbano: (a) função fiscal, que se refere à identificação dos bens imóveis e de seus proprietários com a finalidade de regulamentar o recolhimento de impostos; (b) função jurídica, que se refere à determinação dos direitos de propriedade; e (c) função de planejamento. Esta última, segundo os autores,

[...] está deslocando-se rapidamente para o ponto central das operações cadastrais, e como resultado disso o cadastro está adquirindo uma certa característica multifinalitária (BLACHUT et al., 1980).

De acordo com Seiffert (1996 apud NICÁCIO; LOCH, 2002), o Cadastro Técnico Multifinalitário Urbano apresenta as seguintes características: a) adota a parcela como unidade fundamental de organização espacial; b) relaciona uma série de informações, tais como uso e ocupação, infra-estrutura e serviços públicos, dados socioeconômicos, entre outros, à parcela e aos outros elementos espaciais que compõem o cenário urbano (trecho de logradouro, hidrografia, vegetação, etc.); e c) possui uma estrutura de dados espacialmente georreferenciada, sobre uma base cartográfica.

4.1.2 O papel do cadastro no processo de planejamento

A disponibilidade de dados desagregados no nível da parcela oferecida pelo CTM representa uma importante contribuição aos avanços alcançados pelo planejamento urbano, principalmente no que tange ao processo de modelagem.

Isso porque os dados em micro-escala fornecidos pelo cadastro possibilitam modelar os processos urbanos com maior veracidade, aumentando a sensibilidade dessas ferramentas utilizadas para identificar e analisar os padrões atuais de uso do solo, mudanças econômicas e demográficas, etc. Dessa forma, as análises realizadas a partir de dados do cadastro se tornam mais influenciáveis e explicáveis pelo comportamento individual humano (LANDIS; ZHANG, 1998).

Por outro lado, a desagregação à menor unidade de organização espacial oferecida pelo CTM – a parcela – não exclui as possibilidades de análises em macro-escala. Ao contrário, garante uma total flexibilidade na escolha da escala de planejamento. Assim, quando necessário, o cadastro permite facilmente realizar a agregação dos dados em unidades de análise maiores (bairros, setores censitários, etc.).

4.2 Modelos urbanos

4.2.1 Conceitos e definições

Faz parte da natureza humana o desejo de estudar e compreender melhor o ambiente em que vive sob os mais diversos enfoques. De fato, todos os dias nós conceituamos a realidade através de uma série de imagens mentais esquematizadas com base nas relações espaciais que percebemos (NYERGES, 1991). Como resultado desse processo, produzimos uma representação simplificada da realidade sobre a qual estamos interessados que, de maneira geral, pode ser considerada um modelo.

Dessa forma, os modelos são utilizados com mais freqüência do que se imagina, não só por pesquisadores em situações complexas, mas por qualquer indivíduo ao tentar compreender melhor uma situação que envolva a caracterização de um sistema e a descrição das relações entre seus componentes, não importando o seu grau de complexidade.

Echenique (1972, p.164) apresenta a seguinte definição para modelos:

Um modelo é uma representação da realidade, no qual a representação é feita através da expressão de certas características relevantes da realidade observada e no qual a realidade consiste de objetos ou sistemas que existem, existiram ou podem existir.

De maneira semelhante, Lee, C. (1973, p. 7) reafirma o argumento de Echenique e complementa:

Essencialmente um modelo é uma representação da realidade. É normalmente uma declaração simplificada e genérica do que parecem ser as características mais importantes de uma situação real; é uma abstração da realidade a qual é usada para ganhar clareza conceitual – para reduzir a variedade e complexidade do mundo real a um nível que nós possamos entender e claramente especificar.

Portanto, a construção de um modelo exige um esforço de observação muito grande durante o processo de abstração. O ato de observar é sempre guiado por um propósito, por uma intenção ou por uma curiosidade por parte do observador. Nesse sentido, ter um propósito claro é de suma importância quando se pretende construir um modelo, pois são as questões às quais o modelo deve oferecer respostas que determinarão a seleção das características essenciais a serem captadas. Quando se

tem clareza de objetivos, normalmente também se tem maior segurança para exercer uma atitude seletiva na coleta de dados garantindo, dessa maneira, que somente fatos de grande utilidade para o propósito do modelo sejam capturados (ECHENIQUE, 1972).

Além disso, a habilidade do observador para perceber o mundo real de maneira clara está diretamente relacionada com o nível de acurácia que o modelo poderá alcançar (ECHENIQUE, 1972; LEE, C. 1973). Em muitos casos, o observador utiliza abstrações sem nenhuma sistemática em função da sua inabilidade em lidar com grandes quantidades de informação e nessas situações é bastante provável que o grau de acurácia do modelo seja comprometido (NYERGES, 1991).

Essas duas condições, observação e percepção, são essenciais no processo de desenvolvimento de um modelo para que o resultado seja uma representação simples e inteligível da realidade, capaz de oferecer um bom entendimento do comportamento do sistema em estudo, principalmente quando utilizada em aplicações práticas.

Mas, além dessas condições, existe uma série de outros requisitos que devem ser observados. WILSON (1972) propõe um *check list* baseado em princípios gerais e algumas experiências práticas para orientar o processo de desenvolvimento de modelos, especialmente os quantitativos ou matemáticos¹². As recomendações se dividem em nove etapas:

1. Definição da proposta do modelo, ou seja, das questões que o modelo deverá responder;
2. Escolha das variáveis do modelo;
3. Determinação de quais variáveis podem ser, ao menos parcialmente, controladas pelo usuário: essa etapa define a finalidade do modelo;

¹² Para outras classes de modelos, é necessário proceder a algumas modificações e ajustes na estrutura proposta (WILSON, 1972).

4. Definição dos atributos que representarão cada variável e da unidade de representação: essa é uma decisão vital, já que uma escolha mal feita pode não oferecer as respostas esperadas. Por exemplo, a variável população pode ser representada por informações sobre idade, sexo, renda, etc., que podem ser armazenadas em polígonos (i.e. setores censitários, bairros, etc.), em linhas (i.e. trechos de logradouros) ou em pontos (i.e. centróides das edificações);
5. Determinação da forma como o modelo incorporará a variável tempo: essa decisão está relacionada com o horizonte de tempo que se pretende analisar e com o papel que o tempo exerce no contexto do problema;
6. Definição da(s) teoria(s) que o modelo está tentando representar, se existir(em);
7. Busca por técnicas de análise (definidas em função da etapa anterior) já disponíveis;
8. Levantamento da disponibilidade de dados relevantes;
9. Definição da forma de calibração do modelo e da forma de testá-lo: a calibração envolve a obtenção dos parâmetros que têm a função de aproximar ao máximo os resultados obtidos pelo modelo à situação.

4.2.2 Classificação

Existem diversas classificações para modelos definidas em função de diferentes aspectos que estes apresentam. Echenique (1972) sugere que os modelos sejam classificados sob três aspectos: natureza dos componentes, comportamento em relação a variável tempo e finalidade.

4.2.2.1 Natureza dos componentes

Um modelo pode ser: **a) físico** – no qual as características físicas da realidade são representadas tal como são, a partir de uma modificação na escala (*icônicos*), como por exemplo em maquetes ou fotografias, ou da representação de diferentes propriedades de acordo com algumas regras de transformação (*análogos*), como é o

caso dos mapas, plantas, etc.; ou **b) conceitual** – que utiliza a linguagem escrita ou falada (*verbais*) ou os símbolos e relações expressos em termos de operações matemáticas (*matemáticos*) para representar as características relevantes da realidade (ECHENIQUE, 1972).

4.2.2.2 Comportamento em relação à variável tempo

Em relação ao tratamento dado ao tempo os modelos podem ser: **a) estáticos** – representam um determinado estado do sistema no tempo, seja no passado, no presente ou no futuro; e **b) dinâmicos** – representam a evolução de determinado sistema ao longo do tempo (ECHENIQUE, 1972).

4.2.2.3 Finalidade

De acordo com a sua finalidade os modelos podem ser classificados em: modelos descritivos, modelos preditivos, modelos exploratórios e modelos de planejamento.

O propósito dos **modelos descritivos** é proporcionar um entendimento de uma realidade, determinando a maneira como cada fenômeno dessa realidade se manifesta e descrevendo as relações entre eles. Essa classe de modelos é essencial para que se possa realizar qualquer tipo de análise sobre uma dada realidade e por esse motivo se constitui em parte integrante (componente descritiva) dos demais tipos de modelos (ECHENIQUE, 1972, NYERGES, 1991).

Um exemplo do uso de modelos descritivos é o fornecimento de informações sobre renda familiar, que é uma variável imprescindível em muitas áreas do planejamento, mas difícil de ser coletada. Como existe uma estreita relação entre a renda familiar e outras variáveis fáceis de serem medidas, pode-se formalizar e quantificar essa relação e a partir dela fornecer informações e descrever o comportamento da variável renda familiar (LEE, C., 1973).

Os **modelos preditivos** têm como principal função prever o futuro de uma dada realidade reproduzindo o modo como essa realidade se transforma, esboçando as conseqüências e analisando os impactos de ações (BATTY, 1992). Podem ser divididos em duas categorias: uma, na qual o modelo procede à extrapolação de tendências atuais para predizer o comportamento futuro do sistema; e outra, na qual

os mecanismos de causa e efeito incidentes sobre as variáveis é que determinam esse comportamento (ECHENIQUE, 1972).

Possuem as seguintes características: a) descrevem somente as relações que se espera manter-se-ão razoavelmente constantes ao longo do tempo, já que têm a intenção de trabalhar com o futuro; b) baseiam-se nas relações do tipo causa e efeito, o que exige um grande esforço para definir o que é causa e o que é efeito e quais variáveis traduzem melhor a suas manifestações no sistema; c) as variáveis descritas pelo modelo devem poder ser avaliadas no período de tempo futuro em que se achar necessário, com exceção do caso de uma predição condicional (se X ocorrer, então Y se seguirá) (LEE, C., 1973).

Os **modelos exploratórios** objetivam identificar as possíveis formas que determinada realidade pode assumir, variando-se sistematicamente as variáveis contidas na componente descritiva do modelo e investigar a ocorrência de suposições feitas por teorias conceituais (ECHENIQUE, 1972). Esses modelos, chamados por NYERGES (1991) de explanatórios, são baseados em análises causais que explicam a possibilidade de elementos de um sistema se comportarem de determinada maneira em função de mecanismos internos inerentes ao próprio sistema.

Nos **modelos de planejamento** a intenção é determinar formas de alcançar metas e objetivos através da otimização de determinadas variáveis, simulando e avaliando o efeito de diferentes decisões dentro de um sistema (BATTY, 1992; LEE, C., 1973). Esse tipo de modelo requer uma descrição muito precisa do valor a ser otimizado no sentido de adquirir sensibilidade o suficiente para captar o resultado de diferentes decisões. Por esse motivo, a componente descritiva do modelo deve evitar o comportamento qualitativo. Dentre as limitações dos modelos de planejamento está a necessidade de se determinar medidas objetivas para padrões, custos, além de uma ampla gama de padrões de comportamento que devem ser inseridos no modelo (LEE, C., 1973).

4.2.3 O papel dos modelos no processo de planejamento urbano

Considerando o investimento, em termos de tempo, pesquisa e recursos tecnológicos e financeiros necessários ao processo de construção de um modelo,

pode-se dizer que, do ponto de vista operacional, não são todos os problemas que justificam o desenvolvimento de um modelo para serem solucionados. Normalmente, o uso de modelos fica restrito a questões complexas que envolvem interesses comuns a toda a sociedade, como é o caso do planejamento urbano.

Os modelos começaram a ser amplamente utilizados no planejamento urbano no início dos anos 60, representados por uma classe específica de modelos denominada “modelos urbanos”, que são definidos como: “*modelos matemáticos implementados em computador e projetados para analisar e prever o desenvolvimento de sistemas urbanos*” (WEGENER, 1994, p.18). A difusão desses modelos coincidiu com uma mudança de foco no planejamento, que passava a ser menos intuitivo e mais pragmático, buscando atender às necessidades dos planejadores de melhor representar e quantificar as condições em que decisões eram tomadas (TORRENS, 2000).

Segundo Lee, C. (1973), existem dois motivos principais para o uso de modelos no processo de planejamento. O primeiro deles é o desejo de compreender melhor o comportamento de sistemas existentes, com o objetivo de aprimorar as teorias que os explicam e torná-las mais operacionais. O segundo é o desejo de poder antecipar o estado futuro de sistemas, simulando os efeitos de políticas públicas e estratégias sobre o desenvolvimento urbano, por meio da geração e da análise de alternativas. Nesse caso, o foco está na predição de impactos e no desenvolvimento de planos ótimos (BATTY, 1992).

Lee, C. (1973) traduz bem a relação existente entre modelos e o processo de planejamento:

Comportamento racional envolve o exame das possíveis conseqüências de possíveis linhas de ação e a seleção daquelas que parecem fornecer os melhores resultados. [...] Planejadores lidam continuamente com modelos do sistema urbano ou de seus componentes. Eles podem não estar cientes de que estão usando um modelo, e seus modelos podem não estar necessariamente corretos. Estes são simplesmente construções para substituir no nosso pensamento o sistema real que está sendo representado (p.7).

A aplicação de modelos em planejamento não tem a intenção de reproduzir o julgamento de especialistas. Ela representa um esforço em oferecer uma abordagem sistemática para ajudar o tomador de decisão a escolher um curso de ação através da investigação do seu problema, da busca por objetivos e alternativas e da comparação entre eles à luz de suas conseqüências, utilizando uma estrutura apropriada – de forma tão analítica quanto possível – para trazer intuição e o julgamento de um especialista para solucionar o problema (p.15).

4.2.4 Modelos urbanos e os problemas de localização

De maneira geral, os problemas de localização destinam-se a suprir as necessidades da população de uma dada área geográfica em relação a um determinado produto ou serviço. O objetivo é determinar a localização e a quantidade ideal de unidades que ofereçam o produto ou serviço, de maneira que o conjunto de usuários de uma localização conhecida seja atendido da melhor maneira possível (ALMEIDA, 1999; LOBO, 2003). Essas unidades podem ser diferenciadas em emergenciais e de rotina, segundo a natureza do serviço que oferecem, e devem receber tratamentos distintos (LOBO, 2003).

Um problema de localização busca atender a uma das seguintes situações, diferenciadas em função do tipo de intervenção sobre a rede de unidades existente: a) localizar m unidades arbitrariamente, partindo da hipótese de que nenhuma unidade existe no local; b) localizar k unidades para ampliar uma rede de unidades existente; e c) reorganizar a distribuição de uma rede de m unidades existentes, visando a melhorar seu desempenho (ALMEIDA, 1999).

Existem duas categorias de modelos urbanos mais tradicionalmente utilizadas no estudo de problemas de localização de serviços: os modelos de localização e os modelos de interação espacial.

4.2.4.1 Modelos de localização

Os modelos de localização vêm sendo pesquisados mais intensamente desde 1960 e buscam identificar a melhor localização, a capacidade ótima de equipamentos urbanos e a melhor distribuição da demanda existente entre eles (RIBEIRO; ANTUNES, 2002). Eles oferecem como resultado tanto a localização ótima dos

equipamentos como uma avaliação dos locais onde já existem equipamentos implantados.

A maior parte dos modelos de localização de serviços é caracterizada pela existência de uma função objetivo empregada para impor eficiência ao sistema. Essa função visa minimizar alguma medida de desutilidade na condição mais desfavorável, tomando por base o princípio da eficiência e irá variar de acordo com as necessidades e anseios do usuário do modelo (BERTUGLIA et al., 1987).

Os problemas de localização podem assumir três diferentes formulações de acordo com a função objetivo a ser otimizada: problemas de p -medianas; problemas de p -centros e problemas de cobertura (LARSON; ODONI, 1981 apud ALMEIDA, 1999; LOBO, 2003).

Os **problemas de p -medianas** são uma extensão do problema de Weber e consistem em encontrar uma localização para um número específico e pré-determinado de p unidades, em geral sem restrições de capacidade, de forma que a distância ou os custos de viagem entre elas e os n locais de demanda sejam minimizados. A aplicação dessa metodologia tem grande utilidade na localização de serviços de uso freqüente, como é o caso de escolas, correios, agências bancárias, etc. (ALMEIDA, 1999; LOBO, 2003).

Nessa variação dos modelos de localização a escolha da função objetivo a ser otimizada geralmente está relacionada com os seguintes fatores: distância mínima, distância mínima e máxima, distribuição eqüitativa, limitação da distância e limitação da capacidade. Um dos métodos mais eficientes para solucionar esse tipo de problema é o algoritmo heurístico alternado desenvolvido por Cooper (1963; 1967 apud YEH; CHOW, 1996). Ele alterna suas funções para alocar pessoas em centros e para localizar centros no meio dos seus raios de abrangência até que o sistema convirja (YEH; CHOW, 1996).

Uma série de trabalhos já foi desenvolvida aplicando o modelo de p -medianas para localizar equipamentos urbanos na estrutura urbana, inclusive para os estabelecimentos de ensino, que são o foco desse trabalho. A seguir serão apresentadas algumas dessas experiências.

Pizzolato e Silva (1993) utilizaram um modelo de p-mediana para analisar a localização espacial e a capacidade de atendimento de escolas públicas do Distrito de Nova Iguaçu/RJ. Partindo de um mapa contendo os setores censitários da área de estudo, foram atribuídos pesos equivalentes à população em idade escolar para cada um dos setores. Em seguida, os setores foram convertidos em um grafo cujos vértices representavam os setores e as linhas as distâncias entre eles.

O modelo assume que tanto alunos como escolas localizam-se nos vértices da rede e que os alunos se dirigem à escola mais próxima. A partir dos dados sobre a distância e o peso dos vértices foi utilizado um algoritmo cuja função objetivo é a minimização da distância para determinar o melhor local de implantação de novas escolas e a clientela que elas deveriam atender. Os resultados do modelo revelaram uma rede escolar, em geral, mal distribuída. Essa situação penalizava fortemente algumas áreas mais afastadas nas quais os alunos tinham que percorrer até dezessete quilômetros para alcançar um estabelecimento de ensino.

Um outro trabalho sobre a localização de estabelecimentos de ensino foi desenvolvido mais recentemente por Lobo (2003). O modelo de p-mediana foi utilizado para localizar unidades de educação infantil no município de Cascavel/PR, visando obter uma adequada distribuição espacial para a rede formada por esses estabelecimentos. Os setores censitários do IBGE foram mais uma vez utilizados como pontos de demanda. O peso calculado para cada setor foi obtido pelo somatório das proporções de famílias com renda de até dois salários mínimos, famílias com chefe declaradamente mulher e famílias com chefes analfabetos. Os resultados do modelo oferecem uma proposta de redistribuição das unidades de educação infantil visando diminuir sua concentração nas áreas periféricas do município.

O modelo de p-mediana também foi empregado na avaliação da localização dos espaços abertos planejados em Hong Kong por Yeh e Chow (1996). Nessa aplicação, o centróide de cada quadra foi utilizado como ponto de demanda, sendo que a população existente em cada um serviu como o peso utilizado nos cálculos pelo modelo. Assumiu-se que todos os espaços abertos apresentavam a mesma atratividade para garantir que não haveria competição intra-específica entre eles. Para as quadras que possuíam atividades comerciais e industriais foi atribuído peso

zero visando prevenir que a solução ótima se localizasse em uma delas. O estudo constatou que a maior parte dos espaços abertos planejados se localizavam fora do espaço da solução oferecida pelo modelo, indicando a necessidade de intervenções.

Ramírez e Sendra (2001) realizaram um estudo para avaliar a qualidade da atual localização do sistema hospitalar da Província do Chaco utilizando um modelo p -mediana, com a função objetivo de minimização de distâncias. O objetivo era conhecer o conjunto de localizações ótimas que responderiam a máxima eficiência espacial e compará-lo com as atuais localizações dos hospitais na cidade. O resultado da avaliação foi bastante positivo, identificando somente sete locais com localização ótima nos quais não se encontram instalados hospitais.

Nos **problemas de p -centros** o objetivo é encontrar a melhor localização para um número específico de p centros, procurando minimizar a distância máxima ou o tempo de viagem a ser percorrida até as unidades. Esse tipo de problema é adequado à instalação de serviços emergenciais como pronto-socorros, corpo de bombeiros, etc., já que busca minimizar a ocorrência do pior caso (ALMEIDA, 1999; LOBO, 2003).

No caso dos **problemas de cobertura** normalmente já se conhece uma medida de desempenho para o sistema em estudo e a partir disso busca-se encontrar o menor número de unidades que atendam a todos os pontos de demanda com o desempenho desejado (ALMEIDA, 1999). Esses problemas são mais abrangentes que os anteriores e podem ser aplicados tanto no caso de serviços emergenciais como no de serviços de uso mais freqüente (LOBO, 2003).

Uma característica comum a todas essas metodologias é que a alocação da demanda nas unidades é feita de forma determinística e os usuários são direcionados para a unidade mais próxima. Nos casos em que o objetivo é minimizar distâncias os resultados obtidos podem não ser satisfatórios, pois as estratégias utilizadas muitas vezes não representam ou não orientam o comportamento dos usuários (ALMEIDA, 1999).

Nesse sentido, estudos sobre o comportamento dos usuários de bens e serviços mostram que a sua escolha nem sempre está relacionada com a distância que estes precisam percorrer para chegar ao destino. Por isso, muitos pesquisadores têm

sugerido que essa hipótese seja substituída por uma regra de alocação probabilística de forma que os deslocamentos sejam também associados com aspectos qualitativos dos destinos e com as opções de transporte, além da separação física (ALMEIDA, 1999).

Apesar de todos os avanços conseguidos nesse campo de pesquisa, a exemplo dos modelos que trabalham com múltiplos objetivos e múltiplos níveis para os equipamentos, alguma dificuldade ainda é encontrada em obter dos modelos soluções de localização que sejam ao mesmo tempo ótimas e práticas. A razão dessa dificuldade reside no fato de que os elementos da estrutura urbana que não representam a localização de serviços e de usuários (sistema viário, hidrografia, topografia, etc.) não são considerados pelas variáveis do modelo e portanto não integram o resultado da análise. Por esse motivo, algumas vezes a solução ótima para a localização de um equipamento pode estar situada sobre um lago ou uma rodovia, tornando a implementação dessa alternativa inviável (YEH; CHOW, 1996).

4.2.4.2 Modelos de interação espacial

Baseados no macro-enfoque ou físico-social, os modelos de interação espacial estudam os fenômenos urbanos de maneira agregada, assumindo que é mais importante conhecer o comportamento em massa do que o individual (ECHENIQUE, 1976). Esses modelos descrevem fluxos de várias naturezas (de pessoas, de mercadorias, de informação) entre uma origem i e um destino j . A distribuição dos fluxos é guiada pela potencialidade de cada origem gerar viagens, pela atratividade dos diversos destinos e pela impedância imposta aos deslocamentos entre os pares de origem-destino (ALMEIDA, 1999).

Os modelos de interação apresentam três variações principais: modelos gravitacionais, modelos de oportunidades intervenientes e modelos gravitacionais de oportunidades (ALMEIDA, 1999).

Os **modelos gravitacionais** são fundamentados em analogias à física newtoniana e consideram o espaço como um conjunto de unidades espaciais agregadas - chamadas zonas - que contêm uma quantidade finita de emprego, população, serviços, espaço de lazer, etc. Essas zonas interagem entre si, gerando fluxos de vários tipos que vão dos mais concretos (como viagens, migrações, etc.) aos mais

abstratos (como oportunidade, tensão, etc.). A ligação entre zonas é realizada através de infra-estrutura, dependendo da natureza do fluxo (ECHENIQUE, 1972; de la BARRA, 1979).

Várias formulações foram propostas para o modelo gravitacional, sendo que a versão mais difundida e aplicada é a elaborada por Wilson (1974) que apresentou o modelo gravitacional duplamente restrito na forma geral:

$$T_{ij} = A_i B_j O_i D_j f(C_{ij}) \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (4.1)$$

Onde:

i são zonas de origem;

j são zonas de destino;

O_i é o número de viagens que se originam na zona i ;

D_j é o número de viagens que se destinam à zona j ;

$$A_i = \left[\sum_{j=1}^n B_j D_j f(C_{ij}) \right]^{-1} \quad (4.2)$$

$$B_j = \left[\sum_{i=1}^n A_i O_i f(C_{ij}) \right]^{-1} \quad (4.3)$$

são chamados de fatores de balanceamento, responsáveis por garantir que se cumpram as leis de consistência de fluxo que para $i, j = 1, \dots, n$ são dadas por:

$$\sum_{j=1}^n T_{ij} = O_i \quad (4.4)$$

$$\sum_{i=1}^n T_{ij} = D_j \quad (4.5)$$

C_{ij} é uma medida de impedância que pode ser a distância entre origem e destino, tempo de viagem, custos de transporte ou ainda uma combinação destes fatores.

T_{ij} é o número de viagens que se originam na zona i e se destinam à zona j , representado por uma matriz de fluxos ou matriz origem-destino;

f é uma função de impedância.

Os **modelo de oportunidades intervenientes** tem seus conceitos fundamentais provenientes do estudo realizado por Stouffer (1940 apud Novaes, 1982), que, analisando dados referentes ao movimento de pessoas, concluiu que os processos de distribuição espacial, sejam de assentamento, sejam de locomoção, não tem relação explícita com a distância, e sim com a competição entre às “oportunidades” existentes num determinado destino frente as “oportunidades” mais acessíveis (ALMEIDA, 1999).

Schneider (apud Almeida, 1999) desenvolveu um modelo de oportunidades intervenientes usando o princípio de Stouffer, cuja dedução está baseada na teoria das probabilidades e que representa a forma mais utilizada nos dias de hoje. A idéia de Schneider era de que dentro de uma área de estudo as viagens seriam tão curtas quanto possível, aumentando de comprimento somente se elas não pudessem encontrar um destino aceitável numa distância menor.

Por fim, os **modelos gravitacionais de oportunidades** estão fundamentados na complementariedade dos efeitos da separação espacial e das oportunidades intervenientes sobre a distribuição das viagens entre diferentes regiões de uma área urbana.

Em todos os três modelos de interação espacial comentados acima, o alto nível de agregação das variáveis comportamentais decorrentes da representação por zonas é apontado como uma das principais limitações, em função da pouca sensibilidade que possuem para captar os efeitos de intervenções específicas no sistema (NOVAES, 1982).

Como a base teórica que sustentava os modelos de interação espacial no seu surgimento era muito fraca (analogias à Física apenas), inúmeras críticas foram feitas em relação ao uso desses modelos no trato de problemas de planejamento urbano. Motivado pelo desejo de aprimorar a fundamentação e os resultados oferecidos pelos modelos de interação espacial, Wilson (1974 apud de La Barra, 1979) introduziu o conceito de maximização da entropia. Esse conceito, baseado em mecanismos estatísticos, teoria da informação, probabilidades e análises combinatórias foi utilizado como um mecanismo empírico para introduzir uma dispersão mais realista aos modelos (BERTUGLIA et al., 1987).

Assim também se desenvolveu a teoria *random utility*, que talvez represente o maior esforço feito com a intenção de incorporar uma base econômica nos modelos de interação espacial (BERTUGLIA et al, 1987). O modelo *random utility* tem muitas semelhanças com o modelo de maximização da entropia na forma como foram formulados, no entanto as suas justificativas teóricas são bastante distintas. Enquanto os modelos de entropia consideram a escolha como aleatória no início e então vão limitando-a com a imposição de restrições, os modelos *random utility* iniciam com uma base racional de escolha e então introduzem um elemento aleatório (ECHENIQUE, 1972).

Em razão do seu alto grau de operacionalização, os modelos de interação espacial se tornaram populares. A metodologia adotada por eles possui uma natureza mais empírica, que dá ênfase à simulação de casos reais em lugar de construções teóricas abstratas. Por esse motivo, eles conseguem adaptar-se a realidades concretas e possuem uma ampla gama de aplicações práticas (de la BARRA, 1979), a exemplo da localização de estabelecimentos de ensino, objeto de estudo deste trabalho.

Almeida (1999) utilizou um modelo gravitacional de oportunidades intervenientes duplamente restrito para analisar a localização dos estabelecimentos que atendem ao ensino médio no município de Londrina/PR e propor intervenções sobre a rede escolar. No modelo uma medida de separação espacial do tempo de viagem gasto na realização do trajeto casa/escola foi incorporada e técnicas de preferência declarada foram utilizadas na determinação das oportunidades intervenientes do sistema. O modelo serviu como base para a elaboração de um indicador de acessibilidade utilizado no mesmo estudo. Os resultados fornecidos pelo modelo e pelo indicador apontaram para uma rede escolar heterogênea tanto em termos de distribuição espacial como em termos das características de atendimento de cada escola.

4.2.5 Limitações dos modelos

Há algum tempo os sistemas de modelagem vêm se deparando com um dilema. O aparato intelectual que deu origem a essas ferramentas foi construído em uma época em que as cidades eram muito diferentes do que são hoje: as cidades

monocêntricas, sustentadas pelo trabalho agrícola e uma produção industrial incipiente, deram lugar a cidades policêntricas, regidas pela economia global e pela inovação e informação tecnológica. Segundo SUI (1998, p. 656): *“existe uma necessidade gritante por modelos que capturem a nova realidade urbana da era da informação”*.

Desde a sua criação, os modelos urbanos foram duramente criticados, inúmeras vezes e por vários motivos. Algumas delas por serem desnecessariamente complicados, outras por sua extrema simplicidade. Em outras oportunidades, tiveram seu alto custo, “fome de dados”, hiper-abrangência, organização mecânica, resolução inadequada, falta de transparência, dinâmica pobre, inabilidade para replicar seus resultados, sem falar no seu mecanismo “caixa-preta” para simular os dados, apontados como fortes limitações (LEE, D., 1973; LEE, C., 1973).

Grande parte dessas críticas perdeu o sentido com o passar do tempo e se encontra hoje ultrapassada graças aos avanços tecnológicos e científicos obtidos no campo da modelagem. De acordo com SABOYA (2001), as limitações mais significativas que os modelos urbanos possuem ainda hoje são:

1. A **estrutura arcaica de representação** dos elementos espaciais: basicamente se resume a tabelas estatísticas, nas quais as linhas representam unidades espaciais, conhecidas como zonas, e as colunas representam os atributos das zonas. Essa visão assume que os atributos das zonas se distribuem uniformemente ao longo dela e ignora o fato de que as atividades socioeconômicas e seus impactos são contínuos no espaço (SUI, 1998; WEGENER, 1998). Além disso, esse tipo de modelo não leva em conta as relações topológicas existentes entre seus elementos (WEGENER, 1998);
2. A **“fome de dados”**: expressão usada por Douglas Lee (1973) para representar a necessidade dos modelos por grandes volumes de dados para realizar suas análises. Dados esses, muitas vezes indisponíveis ou acessáveis somente sob o dispêndio de uma elevada quantia de recursos financeiros e materiais, que inviabiliza economicamente a aplicação prática dos modelos;
3. A **dificuldade de visualização dos resultados** em forma gráfica: de maneira geral, os recursos de visualização da maioria dos modelos se resume

a gráficos e tabelas, que dificultam o entendimento do significado espacial dos resultados. Segundo BATTY (1992), a função da visualização não é simplesmente proporcionar uma forma mais fácil ou inteligível de absorver os resultados dos modelos, mais do que isso, ela pode indicar a existência de novos padrões espaciais e conseqüentemente gerar novos *insights* sobre o processo de funcionamento do mundo real;

4. O **caráter de “caixa preta”**: no qual os dados são introduzidos e saem transformados em função de uma série de operações invisíveis ao operador. Com relação a esses modelos, Lee, D. (1973, p. 167) faz o seguinte questionamento:

Como tais modelos podem ser validados para serem utilizados como ferramentas de análise de políticas? Que político irá acreditar no modelo se o modelo vai de encontro a sua intuição ou de seus próprios interesses?

4.3 Sistemas de Informações Geográficas

4.3.1 Definição

Não existe uma definição consensual do que seja um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Essa falta de consenso se deve à diversidade de aplicações que esses sistemas suportam e aos diferentes grupos de usuários que os utilizam, cada um com interesses e preferências particulares (MAGUIRE, 1991; MAGUIRE; DANGEROUM, 1991).

De maneira geral, um SIG pode ser definido como:

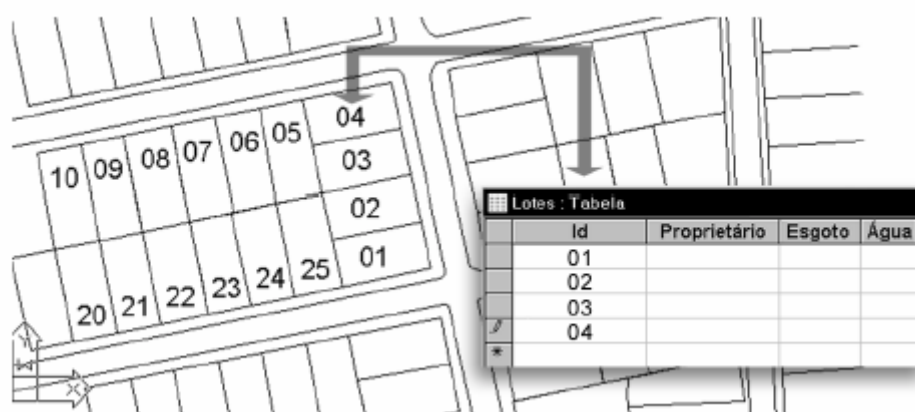
Sistemas de informações geográficas são um conjunto de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados espaciais do mundo real para um conjunto particular de propostas (BURROUGH, 1986, p. 6).

Além dessas, existem várias outras definições, algumas mais detalhadas, outras mais concisas, mas todas com um elemento em comum: a descrição dos SIGs como sistemas que lidam com informações geográficas (MAGUIRE, 1991).

4.3.2 Organização da informação e estrutura de dados

Nos SIGs, as informações sobre os objetos do mundo real são organizadas segundo três aspectos (Figura 4.1): **a) dados geográficos** – que expressam as

características geométricas e espaciais dos elementos a partir de três elementos geográficos básicos – ponto, linha e polígono - com base em um sistema de coordenadas conhecido, normalmente através de mapas; **b) dados descritivos** – que descrevem as características não-espaciais dos elementos, a partir de atributos alfanuméricos armazenados em tabelas; e **c) relações espaciais**, também chamadas de relações topológicas, que descrevem basicamente as relações de proximidade, conectividade, adjacência e pertinência entre os elementos (BURROUGH, 1986).



Fonte: SABOYA, 2001.

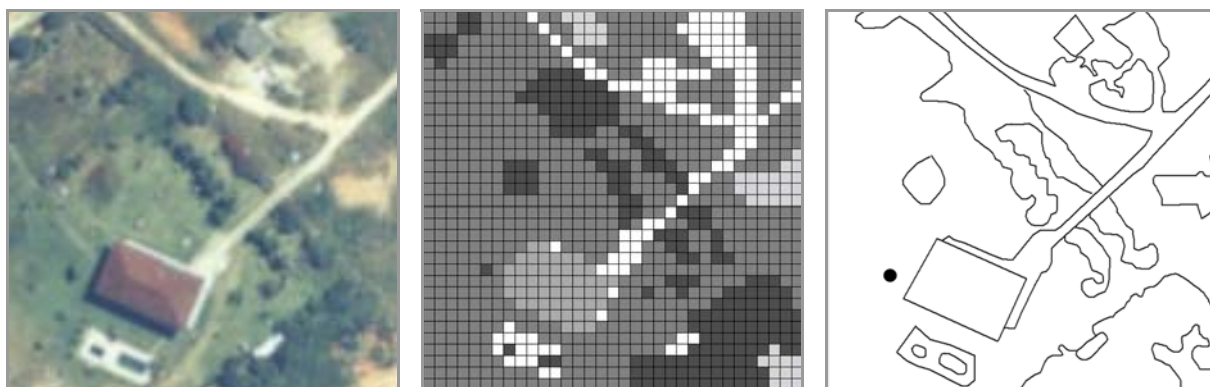
Figura 4.1 - Vinculação dos elementos espaciais às tabelas de dados alfanuméricos em um SIG.

Para serem representados em um SIG os objetos do mundo real precisam passar por um processo de abstração composto por vários níveis.

Inicialmente a realidade é captada por um **modelo de dados** (ou modelo conceitual), que consiste em uma abstração do mundo real na qual estão presentes somente as propriedades mais relevantes dos objetos de interesse de uma determinada aplicação. Como os SIGs representam os objetos a partir de dados geográficos, descritivos e de relações espaciais, o modelo de dados também deve imprimir essa mesma lógica de representação sobre as entidades que serão mapeadas (i.e. pessoas, construções, elementos naturais, etc.), suas respectivas características e as relações espaciais existentes entre elas.

O passo seguinte consiste em definir a **estrutura de dados** (ou modelo lógico), recurso utilizado para implementar o modelo de dados na forma de banco de dados, com uma clara definição das relações e atributos dos objetos como percebidos pelo

usuário. Existem dois tipos de modelos de dados utilizados em SIG, implementados por estruturas de dados de mesmo nome: modelos e estruturas de dados *raster* e modelos e estruturas de dados *vector* (MAGUIRE; DANGERMOUND, 1991; YEUNG, 1998). A figura a seguir ilustra a diferença observada na representação de uma mesma porção do mundo real registrada por uma foto aérea quando ela é realizada utilizando cada um dos modelos.



(a) Foto aérea

(b) Modelo de dados Raster

(c) Modelo de dados Vector

Figura 4.2 – Formas de representação do mundo real disponíveis em um SIG.

No primeiro modelo, implementado pela **estrutura de dados raster**, o espaço é representado por uma matriz composta por unidades quadradas de mesma dimensão, chamadas de *pixels*. A dimensão do *pixel* indica a resolução do dado que está sendo mapeado. Cada *pixel* possui dois tipos de informação: uma relacionada à sua localização geográfica, representada pelas coordenadas (x, y ou x, y, z) do seu centróide; e outra relacionada com um único atributo não-espacial associado àquela localização, como por exemplo o tipo de solo ou vegetação, a declividade do terreno, etc. Assim, diferentes atributos só podem ser armazenados cada um em uma camada de informação (*layer*) distinta.

Os três tipos básicos de elementos geográficos utilizados para representar os objetos do mundo real em um SIG - ponto, linha e polígono – são invariavelmente representados por uma ou várias unidades de área (*pixels*), dependendo do elemento espacial que descreve o objeto e da resolução do *pixel* (Figura 4.3). Pelo fato de não oferecer uma representação acurada dos limites dos objetos, e sim do seu conteúdo, esse tipo de estrutura é mais adequada para representar fenômenos

de variação contínua no espaço, como a edificação e a estrada contidas na figura 4.2 (MAGUIRE; DANGERMOUND, 1991).

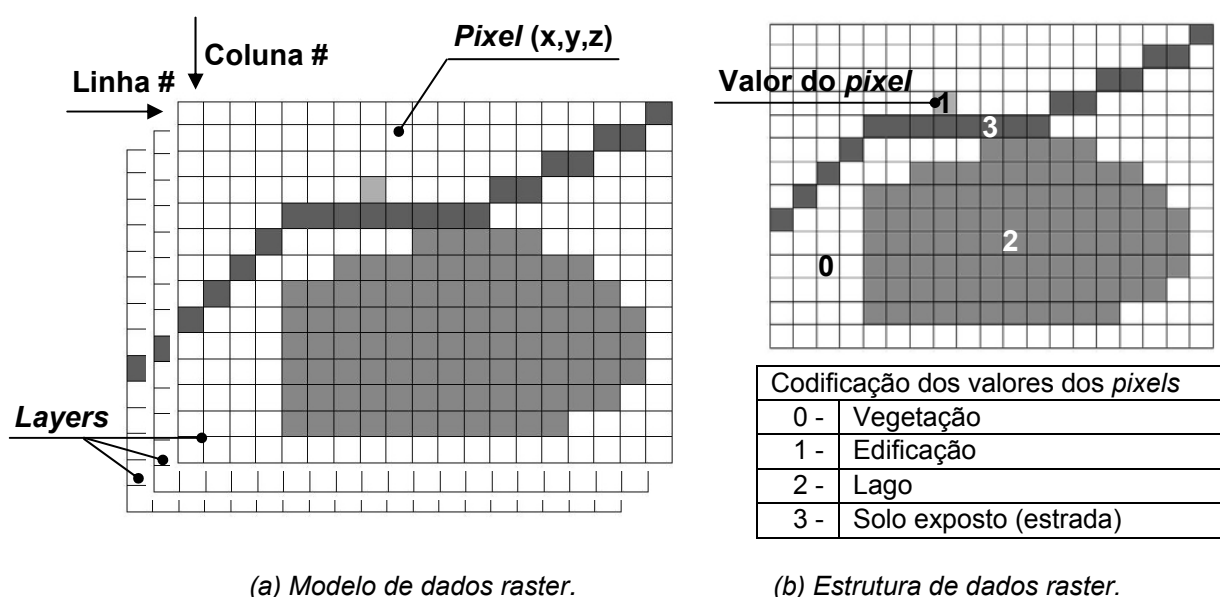


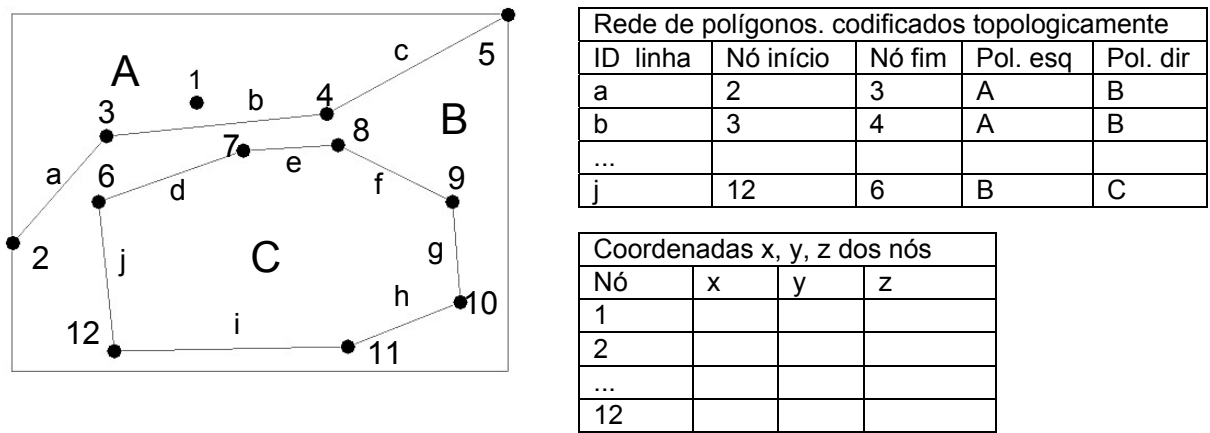
Figura 4.3 - Representação raster de dados espaciais.

No segundo modelo, implementado pela **estrutura de dados vector** os três tipos básicos de elementos geográficos - ponto, linha e polígono – são representados pelo arranjo espacial de uma série de coordenadas (x, y ou x, y, z). Dessa forma, um par de coordenadas define um ponto, uma cadeia de pares de coordenadas define uma linha e uma cadeia de pares de coordenadas em que o primeiro e o último par são coincidentes define um polígono.

Cada elemento geográfico possui um código identificador (ID) ao qual se vinculam propriedades espaciais que podem ser expressas em tabelas, como: localização (x, y ou x, y, z); comprimento, caso o elemento seja uma linha; área, caso o elemento seja um polígono, etc. (Figura 4.4). Esse mesmo ID é responsável por vincular ao elemento todos os atributos não-espaciais que venham a ser adicionados às tabelas. Também é possível vincular os elementos geográficos a tabelas externas a partir do próprio ID ou de qualquer outro campo comum entre as tabelas. Dessa forma, uma mesma camada de informação (*layer*) pode armazenar diversas informações.

Ao contrário da estrutura raster, a estrutura vector é capaz de representar precisamente os limites dos objetos do mundo real que podem ser mapeados como

objetos discretos, como mostra a figura 4.2. Por tal motivo, esse tipo de estrutura tem sido usado em uma variedade de aplicações socioeconômicas relativas a fenômenos discretos, assim como em análises de redes (MAGUIRE; DANGERMOUND, 1991).



(a) Modelo de dados vector.

(b) Estrutura de dados vector.

Figura 4.4 – Representação vector de dados espaciais.

Finalmente, a partir da estrutura de dados é concebida a **estrutura de arquivos** (ou modelo físico), que define o formato e a capacidade de armazenamento das tabelas nas quais os atributos dos elementos espaciais são armazenados e a capacidade de otimização do sistema para transmitir dados (MAGUIRE; DANGERMOUND, 1991; YEUNG, 1998).

4.3.3 Funcionalidades dos SIGs

Embora a maior parte das aplicações dos SIGs seja direcionada para o mapeamento, existe uma grande diversidade de aplicações referentes a coleta, manipulação, análise e visualização de dados geográficos também disponíveis nesses sistemas. Essas aplicações atendem desde os procedimentos necessários à realização de atividades burocráticas e operacionais pelas agências governamentais até atividades de gestão ambiental e planejamento de serviços e equipamentos urbanos (WEGENER, 1998).

Atualmente, esses sistemas vêm sendo mais freqüentemente usados como parte de sistemas de suporte a decisão, que serão comentados no item 4.4 - Sistemas Espaciais de Suporte à Decisão (MAGUIRE, 1991).

Segundo Maguire e Dangermound (1991), as principais funcionalidades dos SIGs podem ser agrupadas em cinco classes de operações:

1. **Coleta, importação, validação e edição** - envolvem as operações necessárias à alimentação do sistema a partir de dados digitais que devem ser precisos e confiáveis. Os dados podem ser obtidos pela importação de dados pré-existent em formato compatível com os suportados pelo SIG ou podem ser coletados utilizando técnicas de aquisição de dados como sensoriamento remoto, restituição aerofotogramétrica, digitalização, etc. Depois de introduzidos no sistema, os dados devem ser avaliados para a correção de possíveis erros e inconsistências, realizada na maioria dos SIGs de forma automática ou semi-automática, por rotinas internas.
2. **Armazenamento e estruturação** – relacionadas às etapas de criação e preenchimento do banco de dados. Envolvem a forma como os dados sobre posição, ligação (topologia) e atributos dos elementos espaciais (pontos, linhas e polígonos) são estruturados e organizados. Essa decisão é crucial pois define os tipos de análises que serão possíveis de serem realizadas e a forma como as informações serão percebidas pelo usuário;
3. **Reestruturação, generalização e transformação** – compreendem as operações realizadas para possibilitar a conversão de dados de fontes diferentes em um formato comum de análise. Através da reestruturação pode-se converter estruturas raster em vector e vice-versa. A generalização envolve a suavização dos contornos de objetos geográficos e a agregação/desagregação de elementos a partir da componente descritiva ou geográfica necessária quando há modificação na escala. A transformação envolve transformações de escala, rotação, translação e inversão de dados

geográficos, como também a transformação linear e não-linear de atributos alfanuméricos;

4. **Consulta e análise** - responsáveis pelo acesso e produção de novas informações. Envolvem as operações de: a) **recuperação** – operações para seleção de informações a partir de critérios espaciais ou não-espaciais; b) **sobreposição (overlay)** – operações que geram novas informações a partir da sobreposição de duas ou mais camadas (*layers*) de informações. Esse tipo de operação é mais eficaz dentro duma estrutura *raster*, pois esta possibilita a realização de operações aritméticas e *booleanas* entre os valores das células posicionadas na mesma coordenada e pertencentes a *layers* diferentes; c) **vizinhança** – operações que avaliam as características de uma área situada ao redor de uma localização específica; e d) **conectividade** - envolvem principalmente análises de rede, como a determinação do caminho mínimo, que pode levar em consideração não apenas as relações topológicas e espaciais (condições de conectividade entre as linhas e sua dimensão), mas também seus atributos alfanuméricos (como velocidade do trecho, capacidade de fluxo, etc.);

5. **Apresentação** – referentes às operações relacionadas à apresentação dos resultados. Os SIGs oferecem vários formatos de apresentação como: tabelas, mapas, gráficos, listas, relatórios, etc. Os mapas são o principal diferencial dos recursos de visualização dos SIGs em relação a outras ferramentas que também tratam dados espaciais. Eles permitem a identificação de padrões espaciais, a visualização do comportamento de uma determinada solução em relação ao sistema global no qual esteja inserida, em duas ou três dimensões, imprimindo um alto grau de realismo às informações mostradas.

4.3.4 SIG e planejamento urbano

Segundo Harris (1989), os planejadores desempenham no mínimo três tipos de tarefas que envolvem o uso da tecnologia computacional. Primeiro, eles fazem planos. Segundo, eles administram regulamentações e analisam impactos que mudanças nos planos e na legislação urbanística podem provocar. Terceiro, eles negociam, barganham, explicam e argumentam sobre regras de planejamento,

mudanças e permissões na lei e para isso necessitam de um sistema que suporte a criação e a apresentação de suas idéias.

A primeira tarefa, ligada a funções estratégicas do planejamento, por não ser um processo bem definido e por seguir uma sistemática dependente da intervenção do planejador, pode ser apoiada pelas funcionalidades do SIG apenas de maneira limitada, normalmente na **geração e apresentação de informações necessárias às análises de planejamento**. Por exemplo, por meio de análises de sobreposição (*overlay*) comparativas, de proximidade e de *buffer* contidas nos SIGs é possível combinar dados socioeconômicos sobre faixa etária e renda para determinar a demanda potencial por um serviço. Essa nova informação pode ser usada como *input* para um modelo de análise preditiva, caso os dados iniciais sejam referentes ao futuro; ou como *input* para um modelo de localização que vise otimizar a distribuição dos equipamentos que oferecem o serviço, nesse caso configurando uma análise prescritiva.

Segundo WEBSTER (1994), as funções analíticas do SIG também são úteis para formar séries de tempo a partir da harmonização de bancos de dados e de correções sobre as diferenças causadas pelo tempo nas feições mapeadas usando a função *overlay* ou convertendo vetores em raster. Esse tipo de informação pode servir como *input* tanto para a realização de análises preditivas quanto para uma base de comparação dos resultados da análise com a situação real. Os SIGs assumem um papel especialmente importante na integração de bases de dados espaciais de diferentes geometrias, como as geradas pelas análises prescritivas. Nessas análises, a geometria dos objetos que representam as políticas é submetida a constantes mudanças em função da exploração de padrões espaciais.

Dessa forma, a utilização dos SIGs na elaboração de planos se restringe a estágios particulares do processo, nos quais desempenha, com maior frequência, funções que apóiam a operacionalização de modelos urbanos e ferramentas estatísticas (HARRIS; BATTY, 1992). Essas funções, como as de organização, consulta e visualização de dados espaciais, normalmente fornecem ou recebem informações dos modelos urbanos e das ferramentas estatísticas responsáveis por produzir as informações necessárias à elaboração das alternativas de planos (HEIKKILA, 1998). No entanto, os SIGs não são capazes de operacionalizar internamente grande parte

dos modelos urbanos utilizando apenas suas funções padrão, sendo necessário lançar mão de recursos de programação para construir aplicações específicas.

No que diz respeito às tarefas administrativas e analíticas do planejamento, os SIGs podem ser úteis no **monitoramento e análise de impactos de alternativas de planos**. Esses sistemas possuem grande capacidade de produzir respostas rápidas a mudanças feitas nos parâmetros cartográficos, facilitando dessa forma a realização de análises de sensibilidade sobre as alternativas de planos (WEBSTER, 1993). Também é possível comparar e combinar os resultados oferecidos por diferentes alternativas, utilizando os recursos de sobreposição (*overlay*). A flexibilidade oferecida pelos recursos de visualização, gerenciamento e análise de dados leva a soluções de melhor qualidade, pois a partir da visualização é possível perceber a necessidade de realizar ajustes nos elementos espaciais e nos seus atributos como: correções no alinhamento de infra-estruturas, alterações em designações de uso do solo, etc.

Outra utilidade dos SIGs está na produção de simulações fotorealísticas e em três dimensões (3D) de forma interativa, que aproximam muito a representação da informação no SIG da sua forma real. Essas funções tornam os custos e benefícios associados a cada solução alternativa mais explícitos, aumentando a probabilidade de se chegar a resultados que maximizem o benefício social (WEBSTER, 1994). Os planejadores e decisores podem explorar um conjunto de cenários possíveis e assim obter uma idéia das conseqüências de uma determinada ação antes que ela provoque alterações irremediáveis no ambiente (BURROUGH, 1986).

Por fim, na realização das tarefas que envolvem negociação e explicação, como é o caso de **consultas e alterações na legislação urbanística e emissão de licenças**, as ferramentas de consulta e visualização permitem que rapidamente um indivíduo seja informado sobre as permissões em relação ao tipo de uso (residencial, comercial, industrial, etc.) e à ocupação (taxa de ocupação, índice de aproveitamento, gabarito, etc.) de seu terreno. Seguindo os mesmos procedimentos, também é possível comparar um projeto arquitetônico com as normas do Plano Diretor e, se as exigências forem atendidas, emitir o alvará e a licença para a execução da obra.

Entretanto, segundo Harris e Batty (1992), o tipo de sistema capaz de gerar informação útil ao processo de planejamento como um todo necessita de: a) modelos de análise urbana; b) dados, baseados em objetivos, metas, custos, benefícios, etc., relacionados aos estágios analítico e de projeto do processo; e c) informações geradas a partir do próprio processo, já que a partir delas as questões se tornam melhor definidas e o aprendizado sobre a natureza do problema gera a necessidade por novas informações. Logo, para que os SIGs se tornem realmente informativos nesse contexto, eles devem ser consistentes e fortemente ligados à definição do problema e aos modelos usados para informar o processo de planejamento.

4.3.5 Limitações dos SIGs

As limitações dos SIGs são determinadas pelo tipo de aplicação na qual eles são empregados e pelas necessidades de seus usuários. Neste trabalho, o propósito de utilização do SIG é claramente voltado para o trato de problemas de planejamento urbano e, portanto, as limitações apresentadas a seguir refletirão as deficiências do SIG como ferramenta de planejamento, e não como ferramenta de uso geral.

Em função da ausência de qualquer estrutura intelectual forte que tenha norteado o seu desenvolvimento, com exceção da cartográfica, os SIGs sempre foram e continuam sendo vendidos como ferramentas de uso geral. Por isso, as questões principais no desenvolvimento desses sistemas têm sido basicamente as referentes ao aprimoramento da representação de dados espaciais. Muito pouco esforço vem sendo empreendido no desenvolvimento de extensões para executar funções específicas, como as necessárias ao controle do zoneamento, ao planejamento e à manutenção de serviços e equipamentos urbanos, ao gerenciamento do tráfego, etc (HARRIS; BATTY, 1992).

Embora tenha havido uma evolução dos SIGs para abarcar representações em formato *raster* e *vector*, representações em zonas e redes e formas de importar e exportar dados espaciais brutos e processados, a maioria dos sistemas ainda é dirigida a problemas estatísticos, nos quais a ênfase está na visualização e mapeamento espacial de dados padronizados, como os oferecidos pelos censos populacionais (HARRIS; BATTY, 1992).

Reforçando o peso do mapeamento na estrutura de um SIG, Openshaw (1991) argumenta que nenhuma das análises integradas de dados espaciais/descritivos de um SIG é realmente uma função de análise espacial, e sim funções cartográficas e de descrição de dados empregadas na manipulação de dados de um mapa. Uma consequência da natureza essencialmente cartográfica dessas análises é que o resultado final de qualquer combinação de operações será sempre informação sobre objetos espaciais (pontos, linhas, polígonos) contidos no espaço. Dessa forma, as informações espaciais não localizadas (não diretamente identificáveis a partir de objetos espaciais), como organização, configuração, padrões, dinâmica e reestruturação espaciais, são quase que inteiramente perdidas ou difíceis de serem captadas pelas funções de análises espaciais oferecidas pelos SIGs.

No entanto, muitas das aplicações de interesse dos planejadores e de outros pesquisadores não são relacionadas ao mapeamento e, nesses casos, as informações espaciais não localizadas são todas noções centrais para os estudos urbanos e regionais e atingem o planejamento urbano e regional, especialmente no nível estratégico (COUCLELIS, 1991; GOODCHILD; HAINING, 2004).

Diante disso, deve-se considerar os SIGs como sistemas abrangentes que fornecem suporte e controle muito importantes para diversos outros sistemas e atividades, mas que podem falhar se forem utilizados como ferramentas exclusivas de análise e planejamento, em função de limitações decorrentes da sua própria natureza (HARRIS; BATTY, 1992).

É preciso ter em mente que o ponto forte dos SIGs está na manutenção e manipulação de informações geográficas através do tratamento de relações geográficas e topológicas, e qualquer esforço para diminuir o peso da componente geográfica em aplicações para outros usos pode limitar o seu impacto, gerar desilusões e má fama quanto ao seu uso no planejamento (HARRIS; BATTY, 1992).

4.4 Sistemas Espaciais de Suporte à Decisão

4.4.1 Definição

Existem diversos sistemas desenvolvidos para dar apoio ao processo de tomada de decisão e ao planejamento. A maior parte desses sistemas possui características

bastante semelhantes, normalmente apresentando uma estrutura composta por ferramentas de análise urbana, por ferramentas gerenciadoras de dados e por uma interface amigável. Juntos, esses componentes devem ser capazes de auxiliar os planejadores e tomadores de decisão na elaboração, avaliação e escolha de soluções para seus problemas.

Os **Sistemas de Suporte à Decisão** (DSSs) são sistemas capazes de oferecer flexibilidade e respostas rápidas em um ambiente computacional adaptável às necessidades e estilos de diferentes usuários. Os DSSs são desenvolvidos para lidar com problemas não passíveis de serem completamente estruturados. Assim como os SIGs, eles também incorporam um sistema gerenciador de base de dados (DBMS – Data Base Management System), mas agregam a ele ferramentas de modelagem analítica e estatística e uma interface gráfica (KLOSTERMAN, 2001). A dimensão espacial não é obrigatória, de maneira que os DSSs podem ser implementados até mesmo em planilhas eletrônicas.

Outros sistemas desenvolvidos em paralelo aos DSSs são os **Sistemas Espaciais de Suporte à Decisão** (SDSS – Spatial Decision Support Systems), que de maneira geral podem ser entendidos como DSS com uma componente espacial. Malczewski (1997, p. 4) apresenta a seguinte definição para um SDSS:

SDSS é um sistema computacional interativo desenvolvido para dar suporte a um usuário ou grupo de usuários para alcançarem uma alta efetividade na tomada de decisão quando solucionando problemas espaciais de decisão semi-estruturados.

Problemas mal ou semi-estruturados são aqueles em que os objetivos não podem ser completamente ou precisamente definidos. Por esse motivo, os SDSSs incorporam o conhecimento do usuário, permitindo a ele utilizar sua intuição e julgamento sobre aspectos do problema que não podem ser modelados (AYENI, 1997).

Outra modalidade de sistemas mais recentes na linha de ferramentas de apoio à decisão e ao planejamento são os **Sistemas de Suporte ao Planejamento** (PSS – Planning Support Systems). HARRIS (1989) define um PSS como um sistema flexível e amigável normalmente constituído por um SIG vinculado a modelos analíticos. Essa definição se aproxima muito daquela sugerida para SDSS, e normalmente elas são utilizadas para designar sistemas semelhantes.

No entanto, Geertman e Stillwell (2003) advertem que, apesar de possuírem uma estrutura operacional muito parecida, existe uma diferença essencial entre esses dois sistemas em relação à sua finalidade: os SDSSs têm a função de oferecer suporte à tomada de decisão, enquanto os PSSs possuem um papel mais amplo, já que a tomada de decisão é apenas uma das etapas do processo de planejamento. Além disso, normalmente os PSSs são desenvolvidos com o objetivo de dar suporte ao planejamento da estrutura urbana como um todo, englobando todos os seus aspectos, como transporte, uso do solo e demografia.

Segundo Klosterman (2001), de fato, os SDSS são desenvolvidos para dar suporte à tomada de decisão relacionada com problemas espaciais complexos como a determinação da localização ótima de serviços centrais, dentre os quais estabelecimentos de ensino fundamental e corpo de bombeiros. Contudo, o desenvolvimento de um SDSS para uma aplicação mais ampla em planejamento urbano depende unicamente da incorporação de ferramentas que permitam a realização de funções próprias do planejamento, como predição, monitoramento, etc. (AYENI, 1997).

Como o objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo a ser posteriormente incorporado em uma ferramenta que dê suporte ao planejamento locacional de um equipamento urbano, mostra-se mais adequada a esse propósito a utilização de um sistema do tipo SDSS desenvolvido com funções específicas para atender às particularidades do problema, inclusive para apoiar o processo de planejamento da localização dos equipamentos

4.4.2 Estrutura de um SDSS

Um SDSS é composto por três subsistemas: sistema gerenciador de base de dados (DBMS – Data Base Management System); sistema gerenciador de base de modelos (MBMS – Model Base Management System); e sistema gerador e gerenciador de diálogo (DGMS – Dialog Generation and Management System) (KLOSTERMAN, 2001; MALCZEWSKI, 1997; YATES; BISHOP, 1998).

Juntos, esses três componentes devem oferecer uma estrutura que integre todas as informações relevantes para um determinado contexto, normalmente provenientes de uma grande variedade de fontes, com um conjunto completo de ferramentas de

modelagem estatística e analítica e com uma interface gráfica que comunique a informação de forma ágil e clara para o decisor. O objetivo principal dessa estrutura é oferecer flexibilidade e respostas rápidas, num sistema de fácil utilização e adaptável às crescentes necessidades de utilização e aos diferentes estilos dos usuários (KLOSTERMAN, 2001).

O quadro a seguir (Quadro 4.1) apresenta as funções desempenhadas por cada um dos subsistemas dentro do SDSS (MALCZEWSKI, 1997).

Componente	Funções
DBMS	<p>Permitir ao usuário construir e explorar relações espaciais complexas entre dados em uma variedade de escalas, resoluções e níveis de agregação.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tipos de dados: geográficos (i.e. coordenadas), descritivos (i.e. geologia, elevação, etc.) e relações espaciais ou topológicas (i.e. pontos, linhas, polígonos e relações entre eles); ▪ Tipo de organização lógica dos dados: relacional, hierárquica, de rede e orientada a objeto; ▪ Funções de gerenciamento de bases de dados internas e externas: aquisição, armazenamento, recuperação, manipulação, diretórios, consultas e integração.
MBMS	<p>Desenvolver bibliotecas de sub-rotinas analíticas para a composição de rotinas que executam modelos, permitindo que um grande número de modelos esteja acessível rapidamente.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tipos de análise: busca por metas, otimização, simulação e <i>What-If</i>; ▪ Tipos de funções estatísticas e de previsão: análise exploratória de dados espaciais, análise confirmatória de dados espaciais, séries de tempo e geoestatística; ▪ Tipos de modelagem das preferências do decisor: estrutura de

	<p>valores, estrutura hierárquica de metas, avaliação de critérios, objetivos e atributos, comparação par a par, utilidade/valor de multiatributos, modelagem do consenso;</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tipos de modelagem de incertezas: incerteza em relação aos dados, incerteza em relação a regras de decisão, análises de sensibilidade, análise de propagação de erros.
DGMS	<p>Oferecer uma interface amigável e ferramentas para que o usuário possa compreender facilmente o significado da informação manuseada.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Funções da interface: consistência, comentários em linguagem acessível, mensagens de ajuda e de erro, modos para usuários iniciantes e para usuários experientes; ▪ Variedade de estilos de diálogo: linhas de comando, menus pull-down, caixas de diálogo, interface gráfica; ▪ Funções das ferramentas de visualização gráfica e tabular: visualização no espaço de decisão (alta resolução cartográfica), visualização no espaço de decisão resultante (i.e. gráficos e diagramas em duas e três dimensões, relatórios tabulares, etc.).

Fonte: MALCZEWSKI (1997), adaptado.

Quadro 4.1 – Funções dos componentes de um Sistema Espacial de Suporte à Decisão.

A estrutura geral de um SDSS e as operações principais realizadas por ele podem ser representadas esquematicamente conforme a figura a seguir (Figura 4.5).

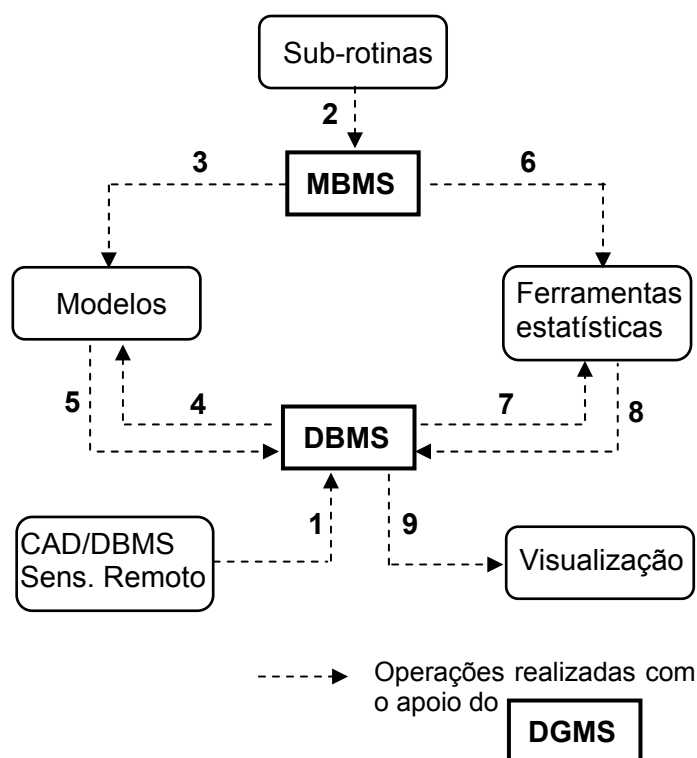


Figura 4.5 – Estrutura geral de um SDSS e principais operações

As operações representadas na figura 4.5 pelos números de 1 a 9 podem ser descritas da seguinte maneira:

1. Alimentação da base de dados do sistema a partir da aquisição: de dados alfanuméricos, armazenados em um DBMS externo; e de dados espaciais, importados de outros softwares (CAD, manipuladores de imagens de sensoriamento remoto e de cartografia). Envolve alguns processos de tratamento dos dados, como adaptação, digitalização, edição e validação, para que estes alcancem o formato adequado para serem manipulados e para alimentarem os modelos e ferramentas estatísticas. Os passos seguintes podem requerer modificações, atualização e/ou complementação da base de dados com os resultados das operações de análise, todas realizáveis a qualquer momento que se achar necessário;
2. Alimentação da base de modelos do sistema a partir da aquisição de algoritmos e sub-rotinas de programação básicos. Pode ser realizada a partir da importação de softwares de programação específicos ou da construção dentro do próprio sistema. Assim como no passo 1, a base de modelos permite que algoritmos previamente armazenados sejam modificados ou complementados e que novos

algoritmos sejam inseridos sempre que houver necessidade por parte do usuário de modificar ou acrescentar novas ferramentas de análise;

3. Construção do modelo analítico necessário a determinado propósito, a partir de consultas (*queries*) à base de modelos para recuperar sub-rotinas e combiná-las;
4. Alimentação do modelo com os dados necessários. Normalmente, são necessárias consulta (*queries*) à base de dados e manipulação dos dados selecionados para que eles se adaptem ao formato requerido pelo modelo;
5. Retorno dos resultados produzidos pelo modelo para a base de dados. Os resultados podem ser utilizados como *inputs* para outras análises (passo 4 ou 7) ou visualizados (passo 9);
6. Construção da ferramenta estatística desejada. Utiliza o mesmo processo que o passo 3;
7. Alimentação da ferramenta estatística com os dados necessários. Utiliza o mesmo processo que o passo 4;
8. Retorno dos resultados produzidos pela ferramenta estatística para a base de dados. Assim como no passo 5, os resultados podem ser utilizados como *inputs* para outras análises (passo 4 ou 7) ou visualizados (passo 9);
9. Visualização dos resultados. Pode ser feita na forma de mapas, gráficos, perspectivas tridimensionais, tabelas, etc.

Todas as operações são realizadas com o apoio do DGMS, representado na figura 4.5 pelas setas pontilhadas. As principais funções do DGMS na execução de cada operação são: a) conduzir o usuário na execução das operações através de janelas (*wizards*), que apresentam os passos e as funções necessárias; b) oferecer alternativas de comunicação usuário/SDSS (linhas de comando, menus *pull-down*, caixas de diálogo, atalhos, etc.) que atendam a diferentes necessidades e padrões de trabalho; c) alertar o usuário para a ocorrência de erros na realização de qualquer operação, através de mensagens explicativas; d) oferecer interface gráfica amigável, que facilite o entendimento do funcionamento do sistema; e) disponibilizar alternativas de visualização de resultados que permitam um bom entendimento do significado da informação produzida.

4.4.3 Funcionalidades de um SDSS

A função básica dos SDSSs é apoiar o processo de tomada de decisão. Para isso, devem possibilitar ao decisor¹³ a determinação da natureza do problema explorado, para que o ambiente da tomada de decisão possa ser definido acertadamente. Duas tarefas são fundamentais para se alcançar uma correta definição: a) extração das informações relevantes obtidas pelos decisores; e b) identificação das questões que devem ser respondidas no decorrer do processo. Com isso, a possibilidade de se chegar a uma solução que atenda à real necessidade do decisor é muito maior (ARMSTRONG et al., 1990).

Os SDSSs assumem que não existe solução ou resposta única para um problema e em função disso devem ser capazes de explorar, não uma, mas várias soluções, que constituem o chamado espaço de soluções de um determinado problema (as opções disponíveis). Para tanto utilizam os modelos do sistema para gerar, analisar e escolher entre vários cenários de possíveis alternativas, de acordo com os padrões estabelecidos pelo planejador ou tomador de decisões. Além disso, esses sistemas devem possuir a capacidade de avaliar continuamente as soluções criadas e, principalmente, revisar especificações do problema a partir de avaliações sobre a sua formulação, realizadas a cada estágio do processo de tomada de decisão ou planejamento. Por fim, os SDSS são desenvolvidos para suportar uma variedade de estilos de tomada de decisão e para serem facilmente adaptáveis e flexíveis, oferecendo novas capacidades à medida que as necessidades do usuário vão crescendo (AYENI, 1997).

Densham (1994 apud Ayeni, 1997, p. 5) sugere que um SDSS deve possuir as seguintes funções:

1. Suporte à aquisição de dados espaciais e não-espaciais;

¹³ Apesar da expressão “tomador de decisão” representar a tradução literal para o Português do termo Inglês “decision-maker”, este trabalho optou por utilizar a palavra “decisor” visando principalmente à uniformização do vocabulário, já que no item seguinte (item 4.5 - Metodologias Multicritério de Apoio à Decisão) esse assunto será retomado e a palavra adotada pelos autores citados para traduzir o termo “decision-maker” é “decisor”.

2. Habilidade de representar relações espaciais complexas necessária a consulta espacial, modelagem espacial e visualização cartográfica;
3. Uma arquitetura flexível, possibilitando ao usuário combinar modelos e dados de diversas maneiras;
4. Métodos peculiares a análises espaciais e geográficas, incluindo estatística espacial;
5. Habilidade de gerar uma variedade de resultados, incluindo mapas e outras formas mais especializadas;
6. Uma interface com o usuário única, integrada, que suporte uma variedade de estilos de tomada de decisões; e
7. Uma arquitetura que suporte a adição de novas capacidades à medida que as necessidades dos usuários evoluam.

Em resumo, os SDSSs são ferramentas desenvolvidas para lidar com decisões estruturadas de maneira pobre, facilitando o processo de decisão, que deve ser iterativo, integrativo e participativo. Iterativo, porque permite que o usuário possa sistematicamente gerar e avaliar um número de alternativas de soluções, que levam ao surgimento de *insights* os quais, por sua vez, são introduzidos como *inputs* para ajudar a guiar análises posteriores. Integrativo, porque incorpora conhecimento substantivo do decisor aos dados quantitativos fornecidos pelos modelos para avaliar alternativas em função de um conjunto de critérios pertinentes. E participativo, porque permite ao decisor examinar as conseqüências da aplicação de diferentes abordagens de modelagem e informações e escolher alternar critérios de decisão, objetivos e restrições (KLOSTERMAN, 2001).

4.4.3.1 Vantagens dos SDSS em relação ao uso isolado de SIGs e de modelos

O exame dos itens que tratam de modelos urbanos (item 4.2 - Modelos urbanos) e SIG (item 4.3 - Sistemas de Informações Geográficas), principalmente no que diz respeito às suas funcionalidades e limitações, revela que os pontos fracos de uma ferramenta são exatamente os pontos fortes da outra para aplicações em planejamento.

Desde o início da década de 90 pesquisadores já vêm explorando, ou ao menos defendendo a necessidade de se investir no desenvolvimento de SIGs com interfaces que suportem outros métodos de análise pré-existentes e com funcionalidades adicionais, necessárias a aplicações mais específicas (HARRIS; BATTY, 1992; WEGENER, 1998).

Wegener (1998) chama a atenção para o potencial que a capacidade de personalização de seqüências de análises através de linguagens embutidas (macros) nos SIGs pode representar para o planejamento urbano. Segundo ele: “[...] *provavelmente a inovação com maiores conseqüências é que o SIG pode ser vinculado a modelos analíticos ou preditivos projetados pelo usuário, e este pode ser o impacto mais importante do SIG no planejamento no futuro*” (WEGENER, 1998, p. 49).

Saboya (2001) argumenta que os modelos urbanos, apesar de suas limitações, ainda são mais úteis ao planejamento do que os SIGs. De acordo com o autor: “*Isso acontece porque, apesar da estrutura espacial arcaica apresentada pelos modelos, seu funcionamento baseia-se na lógica específica do sistema estudado, e é fortemente direcionado para a análise*” (SABOYA, 2001, p. 20).

O mesmo autor parte de uma possível incorporação das capacidades dos SIGs nos modelos para apresentar uma série de vantagens resultantes da vinculação entre essas duas ferramentas para aplicações em planejamento urbano:

1. **Aproveitamento de dados existentes em formatos diversos:** a maioria dos SIGs possui funções de importação/exportação de dados em vários formatos, que permitem um maior aproveitamento de dados provenientes de diversas fontes. Esse aproveitamento tende a se tornar maior e mais fácil se a intenção atual da criação de um padrão de dados geográficos a ser adotado por todos os softwares vier a se concretizar (HEIKKILA, 1998), eliminando a necessidade de conversão de formato de arquivos. Essa é uma vantagem importante dos SDSS, visto que um dos maiores problemas na realização de análises urbanas é a quantidade de dados necessária. Para os modelos, a possibilidade de aproveitar dados geográficos já existentes aliada às funções de gerenciamento de dados presentes nos SIGs significa uma grande redução da duplicação de esforços;
2. **Geração de dados de entrada a partir de dados brutos:** a forma de representação das relações entre dados espaciais adotada pelos SIGs, a representação topológica, pode ser utilizada como forma de gerar novos *inputs* para os modelos, a partir da transformação de dados espaciais em dados numéricos a serem inseridos nos modelos. Isso traz uma importante conseqüência para o desempenho dos modelos, que podem ter seu

funcionamento interno melhorado em função da representação mais refinada do espaço, capaz de incorporar relações espaciais como proximidade, coincidência e contigüidade. As funcionalidades dos SIGs também permitem que informações descritivas (como as contidas em cadastros municipais) sejam convertidas ou reformatadas para serem utilizadas em modelos exploratórios, preditivos e prescritivos. Outro ponto forte da combinação SIG/modelos é a utilização das funções de análise espacial, como interpolação, *overlay*, *buffer*, etc., para gerar informações que servirão como dados de entrada para os modelos;

3. **Desagregação dos dados:** ao contrário da maioria dos outros sistemas, o SIG se especializa em desagregação (HARRIS; BATTY, 1992). Essa característica é útil principalmente nos casos em que a informação se encontra desagregada mas precisa ser agregada para ser utilizada como *input* para um modelo. O critério de agregação pode ser tanto um atributo alfanumérico como alguma característica espacial de determinado elemento geográfico, e o processo de agregação é automático, o que garante precisão e facilidade de atualizações periódicas. Para WEGENER (1998) é cada vez maior a necessidade de substituir representações discretas do espaço por representações contínuas, que captem além das propriedades espaciais dos elementos suas características configuracionais, relativas à localização com um nível apurado de detalhe;
4. **Interatividade no processo:** a utilização do SIG torna os modelos mais amigáveis ao usuário, comunicando os resultados das análises para um grupo maior de pessoas (HARRIS, 1989; SUI, 1998). Esses sistemas estão sendo desenvolvidos com interfaces gráficas cada vez mais poderosas, que têm a função de mediar a interação do usuário com os dados, estejam eles na forma numérica, gráfica ou textual. A interface pode aumentar o entendimento do funcionamento do modelo por parte do usuário e, por esse motivo, diversos *softwares* avançaram sua interface gráfica não apenas para a realização de atividades corriqueiras, mas também para guiar o usuário de forma intuitiva na efetivação de algumas operações-chave, através da criação de pequenos módulos, chamados de assistentes (*wizards*). Para Saboya (2001, p. 23): “*caso isso seja alcançado também para operações analíticas mais complexas e refinadas, um passo importante pode ser dado para uma penetração maior dos modelos urbanos na prática do planejamento*”.

5. **Visualização dos resultados:** com as capacidades dos SIGs os resultados dos modelos podem ser visualizados pelo usuário de maneira quase imediata e no formato de apresentação mais adequado para o tipo de informação. Por exemplo: classificação por cores, *pie-charts*, representações do tipo *dot-density*, símbolos personalizados pelo usuário com tamanhos proporcionais aos atributos numéricos, etc. A geração de mapas temáticos, por exemplo, é uma tarefa corriqueira nesse tipo de sistema. Além disso, o significado dos resultados pode ser melhor entendido porque é possível buscar detectar padrões e relações até o momento não identificados entre as variáveis do modelo através de um processo chamado de análise exploratória de dados;
6. **Avanços na teoria embutida nos modelos:** os modelos urbanos possuem capacidades de representação limitadas, que acabam restringindo o número de possibilidades a serem testadas. Segundo SABOYA (2001, p. 24), isso significa que *“nem todas as hipóteses levantadas sobre o comportamento de algumas variáveis, principalmente aquelas com forte ênfase nos aspectos espaciais, podem ser testadas utilizando-se apenas os modelos urbanos”*. Essa limitação é superada pela capacidade de representação espacial refinada oferecida pelos SIGs, que podem ser utilizadas para operacionalizar novas teorias sobre os sistemas urbanos.

4.4.4 SDSS e planejamento locacional de estabelecimentos de ensino

4.4.4.1 A natureza dos problemas de decisão locacional

Os problemas espaciais de decisão se caracterizam por envolver um grande número de alternativas de decisões possíveis, normalmente avaliadas em função de múltiplos critérios. Esses múltiplos critérios são definidos por mais de um decisor ou grupo de decisores e devem incorporar as diferentes preocupações de cada um com relação ao problema. Desse modo, as decisões tomadas são freqüentemente cercadas por incertezas (MALCZEWSKI, 1997).

Dependendo do grau de incerteza e de indefinição, os problemas relacionados à decisão podem variar desde problemas estruturados até problemas desestruturados. Os primeiros podem ser estruturados tanto pelo decisor quanto por alguma teoria relevante e sua solução, obtida por técnicas computacionais, como por exemplo a programação. No segundo caso, o problema não pode ser estruturado nem pelo

decisor nem por teorias e a sua solução depende exclusivamente do decisor, que não pode contar com o auxílio de técnicas computacionais.

A maior parte dos problemas espaciais de decisão do mundo real são problemas mal definidos, ou seja, problemas em que as metas e objetivos não podem ser completamente definidos ou medidos e os aspectos não podem ser modelados. Esse tipo de problema se encontra entre os extremos do intervalo dos possíveis estados de estruturação que um problema pode assumir e é chamado de problema espacial semi-estruturado (MALCZEWSKI, 1997). Nessa classe incluem-se os problemas de decisão locacional, que de maneira geral apresentam as seguintes características (ARMSTRONG et al., 1990 p. 343):

1. Uma pessoa ou grupo de pessoas deve escolher um ou mais locais a partir de duas ou mais alternativas;
2. Atividades nesses locais geralmente servem pessoas de muitos locais diferentes;
3. As áreas que serão atendidas podem ser determinadas arbitrariamente, por critérios definidos pelo decisor, ou as pessoas podem escolher os locais de forma que venham a ser atendidas pelo serviço;
4. Existe um custo de interação entre o local de instalação da atividade e o usuário, que pode ser estimado como uma função da distância ou especificado como dado;
5. Os locais de instalação de atividades podem diferir na prestação do serviço em custos iguais ou qualidade igual. Frequentemente, a relação matemática entre a performance e a variável que a afeta não pode ser conhecida precisamente;
6. A habilidade dos tomadores de decisão de priorizar diferentes critérios depende das características do sistema gerado pela distribuição dos pesos entre os critérios.

Segundo Armstrong et al. (1990, p. 343), a falta de estrutura em muitos desses problemas de tomada de decisão locacional pode ser atribuída a dificuldades em:

1. Especificar um conjunto abrangente de critérios relevantes no início do processo que normalmente só são descobertos quando as alternativas são analisadas;
2. Especificar os pesos que devem ser atribuídos aos critérios antes que os tomadores de decisão conheçam as consequências de impor essas restrições;
3. Determinar restrições específicas para o local antes que os tomadores de decisão conheçam as consequências da imposição dessas restrições;

4. Capturar todos os dados relevantes sobre o ambiente geográfico em um nível de acurácia suficiente para distinguir diferentes alternativas de soluções.

Pode-se dizer então que a dificuldade de solucionar problemas de planejamento locacional complexos está, de maneira geral, relacionada a três aspectos distintos, porém interconectados, inerentes ao processo de tomada de decisão: a) determinar qual é o verdadeiro problema; b) determinar uma estratégia para encontrar uma solução; e c) encontrar uma solução. Quando os aspectos a) e b) estão bem definidos, o uso de modelos urbanos, normalmente os de otimização (como por exemplo modelos de alocação-localização, distância ou custo do menor caminho e otimização multicritério com restrições), apresenta bons resultados; do contrário, se não houver possibilidade de se encontrar uma definição clara para esses aspectos, então o uso de ferramentas de apoio à decisão, como os SDSS, é bastante recomendado (ARMSTRONG et al., 1990).

Caracterizar o tipo de conhecimento que os decisores necessitam na tarefa de selecionar a localização de qualquer atividade tem sido uma difícil atribuição, principalmente em função da falta de atenção dada ao processo de raciocínio, raramente observado. Dessa forma, uma questão central no processo de tomada de decisão locacional é: *“Como, onde e em que nível se deve oferecer suporte ao processo de tomada de decisão como um todo?”* (HUMPHERYS, 1986 apud ARMSTRONG et al., 1990, p. 341).

A resposta para essa pergunta está em, primeiramente, buscar um conhecimento substancial sobre o contexto do problema, para que a partir disso o usuário possa conhecer e compreender melhor o seu problema, por meio de uma análise sistemática de vários cenários possíveis, antes de tomar uma decisão. Além disso, uma ferramenta eficiente para o processo de tomada de decisão também deve permitir que o usuário conheça o funcionamento do sistema de seu interesse através do exame das conseqüências de selecionar diferentes critérios, objetivos e limitações (ARMSTRONG et al., 1990).

4.4.4.2 O papel do SDSS no planejamento locacional de estabelecimentos de ensino

Para exemplificar algumas maneiras pelas quais um SDSS que tem como componente principal um SIG pode atuar na realização das tarefas relacionadas

especificamente ao planejamento locacional de estabelecimentos de ensino, será adotada uma proposta baseada nas diferentes funções existentes no processo geral de planejamento. A divisão é proposta por COUCLELIS (1991), com base no trabalho de HARRIS (1989), e apresenta quatro modalidades principais de funções: funções operacionais, funções administrativas, funções estratégicas e funções de comunicação.

As **funções operacionais** correspondem às operações de rotina referentes à manutenção e atualização da base de dados. Basicamente são realizados dois tipos de operações: a) consulta à base de dados, normalmente utilizando a própria interface dos SIGs; e b) manutenção da base de dados, que pode ser realizada utilizando tanto a interface dos SIGs quanto a interface de software mais específicos para a manipulação de dados geográficos (CAD) e de dados alfanuméricos (DBMS). Dependendo da frequência de realização desse último tipo de operação, pode ser mais interessante investir em software específicos que oferecem recursos mais poderosos e uma interface mais amigável.

Para exemplificar como um SDSS poderia ser empregado na realização das funções operacionais do planejamento locacional de estabelecimentos de ensino, será utilizado o processo de construção de uma nova unidade. Primeiramente é realizada uma consulta sobre a legislação urbanística (índices, tipo de uso, etc.) e outras informação relevantes incidentes sobre o local de implantação, que pode ter sido definido previamente por um modelo. As informações são recuperadas do banco de dados do SIG através de uma consulta bastante simples.

Caso seja constatada a adequação do local e o projeto da obra tenha sido aprovado pelo órgão competente, o SDSS é acionado para atualizar a base de dados, a partir da inclusão do elemento geográfico (ponto ou polígono) que representa o novo equipamento na respectiva camada de informações, e das informações alfanuméricas relacionadas a ele, como por exemplo status da obra, nível de ensino que o equipamento oferecerá, número de vagas, área construída, etc. No momento da conclusão da obra, novamente a base de dados deve ser atualizada no campo referente ao status da obra. Caso haja qualquer alteração nos outros dados em função do fechamento de turmas, reforma, entre outros, o mesmo procedimento deve ser realizado.

As **funções administrativas** estão relacionadas à otimização de recursos, incluindo o monitoramento de mudanças, avaliação de impactos, criação e avaliação de estratégias para o uso, manutenção e reposição de recursos. As análises descritivas propostas por Webster (1993) integram essa classe de funções e serão tomadas para ilustrar a participação dos SDSS nesse processo. Segundo o autor, essas análises compreendem três estágios: a) monitorar a oferta de infra-estrutura, definindo sua localização e quantidade de vagas por série ofertadas; b) monitorar a localização dos consumidores de infra-estrutura, definindo quem é a clientela e onde está localizada; e c) monitorar a demanda dos consumidores por infra-estrutura. No entanto, Ayeni (1997) argumenta que os efeitos da infra-estrutura urbana são freqüentemente difíceis de medir, principalmente pelo fato da demanda por infra-estrutura não poder ser definida de forma direta. Segundo ele, existe uma necessidade de se conhecer e compreender o comportamento locacional de diferentes atividades no sistema urbano, para entender e avaliar a localização e distribuição da infra-estrutura urbana.

Dessa forma, é possível mapear os equipamentos por nível de ensino (fundamental, médio, superior) e tipo de instituição (pública, privada, filantrópica, etc.) e mapear a clientela potencial desses equipamentos por faixa etária e renda das pessoas, por exemplo. Esses dados podem ser analisados por dois tipos de ferramentas analíticas: modelos urbanos e ferramentas estatísticas.

No primeiro caso, os dados mapeados pela base de dados, juntamente com alguns critérios de localização, podem servir como *inputs* para um modelo de localização confeccionado dentro do SDSS, com o propósito de identificar as áreas mais carentes de estabelecimentos de ensino. O resultado fornecido pelo modelo pode ser analisado pelo planejador utilizando as ferramentas de visualização para identificar possíveis inconsistências e, principalmente, confrontá-lo com o seu conhecimento, julgamento e intuição. Os mapas são extremamente úteis nessa tarefa pois oferecem uma visão global do comportamento espacial da solução analisada, facilitando a percepção e a compreensão dos usuários. O modelo de localização que será proposto no item 6 - Proposta conceitual de um modelo de localização de estabelecimentos de ensino foi concebido com a intenção de servir a essa etapa do processo de planejamento da rede de estabelecimentos de ensino.

No segundo caso, a base de dados do SDSS pode alimentar ferramentas de análise de estatística espacial com os dados sobre oferta e demanda, obtendo-se como resultados: a quantidade de novos equipamentos que devem ser construídos para equilibrar oferta e demanda; o grau de desigualdade na distribuição espacial dos estabelecimentos de ensino existentes em relação a uma determinada unidade de análise; a correlação existente entre a ocorrência de estabelecimentos de ensino público e a localização da população de baixa renda, etc. Assim como no uso de modelos, a análise dos resultados usando as ferramentas de visualização é importante para checar e repropor soluções.

As **funções estratégicas** são aquelas que afetam os processos socioeconômicos através da manipulação de relações espaciais, como por exemplo o planejamento de transportes e do uso do solo, da localização de atividades e de serviços, etc. Saboya (2003) propõe uma divisão das funções estratégicas em quatro sub-funções: detecção de problemas futuros, definição de alternativas, avaliação e seleção da melhor alternativa e implementação do plano.

Na primeira etapa, de **detecção de problemas futuros**, o sistema urbano é estudado a partir de análises preditivas que devem revelar as tendências do seu comportamento social e econômico. Com isso, é possível prever a quantidade de oferta e de demanda por infra-estrutura em momentos futuros e, conseqüentemente, planejar de forma mais adequada a sua provisão (WEBSTER, 1994).

A predição sobre a demanda por determinado tipo de infra-estrutura deve responder qual a quantidade, estrutura e localização das unidades consumidoras num horizonte de tempo futuro. Essa análise pode ser realizada basicamente de duas maneiras: a) utilizando resultados de predições externas feitas com base em algum modelo estatístico (como pesquisas amostrais que revelam o perfil socioeconômico dos indivíduos, executadas por órgãos governamentais – Censo – ou por empresas privadas); ou b) fazendo uso de modelos demográficos (WEBSTER, 1994). A primeira forma de análise pode ser facilmente realizada em um SDSS por meio apenas das funções padrão de manipulação de dados contidas em qualquer SIG. O maior problema está em compatibilizar formatos de arquivos e em vincular as tabelas com os dados alfanuméricos das pesquisas aos elementos geográficos, quando o produto final for somente tabelas. Se forem utilizados modelos

demográficos, a função do SDSS será semelhante à desempenhada nas funções administrativas, quando da aplicação de um modelo de localização.

Já a predição sobre a oferta de infra-estrutura deve responder qual será a quantidade, a qualidade e a distribuição espacial de infra-estrutura que o mercado terá que suprir. Existem três opções para a realização dessa análise: a) registrar os planos de investimento dos atores-chave; b) rodar um modelo de uso do solo ou localização; e c) construir cenários usando o conhecimento e intuição de especialistas (WEBSTER, 1994).

A primeira alternativa funciona como descrito nas funções operacionais. A segunda é, de maneira geral, a forma de análise mais freqüente para descrever a demanda futura por infra-estrutura pública, a partir de uma avaliação dos custos associados com o padrão de uso do solo predito. Um modelo de uso do solo pode ser confeccionado pela biblioteca de algoritmos do SDSS, por exemplo, para simular a implantação de um distrito industrial num município e o conseqüente impacto que esse empreendimento exercerá sobre a distribuição espacial das residências que, por sua vez, determina a localização da demanda por estabelecimentos de ensino.

Também o modelo de localização proposto no item 6 - Proposta conceitual de um modelo de localização de estabelecimentos de ensino novamente pode ser utilizado agora para identificar as áreas onde haverá necessidade de implantação de novos equipamentos em função do crescimento da demanda num determinado horizonte de tempo. Basta substituir os dados socioeconômicos atuais por projeções futuras, assim como incorporar dados referentes a alterações na estrutura urbana que exerçam influência sobre as variáveis do modelo, como por exemplo a construção de uma nova via de tráfego pesado, a implantação de um loteamento, etc.

Assim como nas funções administrativas, as ferramentas de visualização exercem um importante papel na interpretação dos resultados do modelo. Segundo Webster (1994), a disponibilização visual dos padrões de uso do solo futuros baseados nas tendências de mercado revela ineficiências na forma espacial, conflitos de uso entre zonas, etc. A visualização também permite uma análise sobre os tipos de processos urbanos governados pelo mercado que o uso do solo está produzindo, como por exemplo segregação, aglomeração, estagnação, etc. Como já mencionado no item

3.2 - Fatores que afetam a relação dos estabelecimentos de ensino com o espaço urbano, esses processos exercem importante influência sobre a rede de estabelecimentos de ensino no longo prazo.

E, finalmente, a construção de cenários exige basicamente o conhecimento e a intuição do planejador para testar um estado possível do sistema. Por isso, é considerada uma maneira informal de análise preditiva. No entanto, os modelos exploratórios podem apoiar o planejador nessa etapa. Segundo Saboya (2003, p.16)

[...] esses modelos não resultam em predições, mas oferecem meios de testar teorias sobre relações de causa e efeito em sistemas urbanos, e compará-las com dados empíricos, oferecendo assim condições de diminuir as incertezas na construção de cenários futuros.

Na **definição de alternativas** a pergunta a ser respondida é: quais são as alternativas de decisão? Essa etapa envolve a criação, desenvolvimento e análise de um conjunto de possíveis alternativas de decisão (planos) para o problema identificado na fase anterior. Segundo Harris e Batty (1992), a geração e teste de planos complexos e de larga-escala é realizável, porém potencialmente difícil. Na verdade, essa atividade possui uma natureza mais artística do que científica, e a chave para reduzir a dificuldade e impor a arte na sua realização reside numa divisão de trabalho entre o planejador e o computador. Uma alternativa é utilizar a intuição e experiência acumulada por especialistas para informar modelos exploratórios. De acordo com Saboya (2003, p.17):

[...] os resultados dos modelos exploratórios, combinados com as experiências feitas com estatística espacial (teste de correlações, detecção de padrões, etc.) e com os resultados apresentados em forma visual, podem oferecer suporte ao entendimento do sistema. Este, por sua vez, é fundamental para a formulação de alternativas, pelo fato de conferir maior entendimento da influência das variáveis sob o domínio do planejador no desenvolvimento do sistema.

O SDSS poderia ser utilizado para construir alternativas de redes de estabelecimentos de ensino descentralizadas, centralizadas e mistas e para analisar em cada uma o comportamento das variáveis envolvidas no sistema, como acessibilidade, impactos sobre o sistema viário, necessidade de transporte coletivo, etc.

Em seguida, na etapa de ***avaliação e seleção da melhor alternativa***, cada alternativa é avaliada em relação às demais em função de uma regra de decisão pré-estabelecida e recebe uma pontuação. Ao final, tem-se um ranking que expressa o desempenho das alternativas frente às preferências dos decisores de acordo com a importância dada ao critério de avaliação. Com relação a isso, Harris e Batty (1992) alertam que questões como essas, envolvendo escolha de planos com base em múltiplos critérios, podem se tornar muito trabalhosas. Além disso, já é um fato que os planejadores não tomam as decisões finais sobre os planos que desenvolvem e que os detentores da palavra final frequentemente utilizam critérios inesperados e sem embasamento técnico. Tais critérios obviamente não podem fazer parte de nenhuma avaliação sistemática e, por esse motivo, a sua existência deve ser motivo para a preparação de planos alternativos que possam ser medidos comparativamente.

O procedimento para avaliar cada alternativa é o mesmo usado para detectar os problemas futuros, com a diferença que, nesse caso, são consideradas as mudanças introduzidas no sistema pela alternativa que está sendo avaliada (SABOYA, 2003). Logo, depois das alternativas formuladas, o processo de planejamento repete o mesmo procedimento que ocorre na detecção de problemas futuros, só que a avaliação se dá em relação à influência das alternativas sobre a discrepância entre oferta e demanda por determinada infra-estrutura. Uma técnica que pode ser bastante útil na realização desta etapa é a Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA – Multicriteria Decision Aid). Através do MCDA o planejador pode construir um modelo de avaliação global contendo todos os critérios que segundo ele devem ser levados em conta ao avaliar qualquer alternativa referente a um mesmo contexto de decisão. Essa técnica será apresentada com maiores detalhes no item 4.5 - Metodologias Multicritério de Apoio à Decisão.

Por último, vem a ***implementação do plano*** ou da alternativa escolhida na etapa anterior. A implementação pode utilizar as informações reveladas pelas análises descritivas (SABOYA, 2003), empregadas tanto na execução das funções administrativas como das sub-funções estratégicas de detecção de problemas futuros, em conjunto com o MCDA. Assim, usando o MCDA, o planejador poderia construir um modelo de avaliação global dos critérios que devem ser levados em conta para definir a prioridade de investimento público para a implantação de

equipamentos urbanos. As informações das análises descritivas sobre a situação atual do sistema, discretizado em unidades de análise a serem definidas pelo planejador (como bairros, ou zonas escolares, se existirem), seriam confrontadas com os critérios do modelo de avaliação revelando as áreas mais urgentes de intervenção.

Por exemplo, suponhamos que os critérios considerados por um modelo de avaliação global para determinar a prioridade de implantação de novas unidades de ensino sejam: concentração de demanda, número de equipamentos (capacidade de atendimento) e renda média da população. Imaginemos também que a solução de planejamento adotada para a rede de estabelecimentos de ensino preveja a construção de quatro novas unidades de ensino num prazo de cinco anos, mas no primeiro ano a Prefeitura só disponha de recursos para a instalação de um equipamento. Logo, o bairro que apresentasse a maior quantidade de pessoas na faixa etária a ser atendida pelo equipamento, a menor quantidade de vagas oferecidas e a menor renda média obteria a maior pontuação e a preferência da implantação do novo equipamento.

As **funções de comunicação** possuem dupla serventia, na medida que têm a função de ao mesmo tempo informar e serem informadas sobre a opinião da população a respeito de decisões e ações de todas as etapas do processo de planejamento. Existe uma tendência crescente das funções de comunicação passarem a desempenhar um papel vital no processo de planejamento, em virtude da natureza democrática que vem governando os trabalhos realizados nessa área, cujo maior disseminador é o Estatuto da Cidade. Segundo Saboya (2003), o que se busca hoje com as funções de comunicação é informar a população de forma que ela seja capaz não apenas de expressar seus desejos e prioridades, mas de compreender o contexto no qual o assunto de seu interesse se insere, para opinar com maior consciência e conhecimento de causa.

O mesmo autor identifica uma outra tendência relacionada às funções de comunicação que é o intercâmbio de informações entre os diferentes setores envolvidos no processo de planejamento, visando a aumentar sua eficácia e eficiência. Dessa forma, haverá uma significativa diminuição da duplicação de esforços, já que as informações e análises já existentes em um setor poderão ser

aproveitadas por outro. Além disso, os processos passarão a ser realizados com maior rapidez e praticidade.

Um SDSS poderia realizar basicamente dois tipos de funções de comunicação no processo de planejamento locacional de estabelecimentos de ensino: a) entendimento das análises, do processo de tomada de decisão e da solução de planejamento adotada, através da visualização, explicação de conceitos e consultas ao seu conteúdo; b) compartilhamento de dados e informações (SABOYA, 2003).

De maneira geral, o primeiro caso é direcionado tanto para a população quanto para os técnicos. A população pode, por exemplo, consultar a localização de escolas de ensino fundamental que estejam a menos de 700 metros de sua residência e visualizar a informação ou ter acesso aos projetos futuros de instalação e reforma de equipamentos. Já os técnicos, que normalmente têm interesse e necessidade de entender os processos, podem, por exemplo, saber como foi elaborada a análise de acessibilidade e como ela influenciou na tomada de decisão.

O segundo caso é mais direcionado para os técnicos, que podem utilizar as informações geradas por um modelo de acessibilidade como *inputs* para alimentar um segundo modelo de localização, evitando a duplicação de esforços. Mas, através das funções de compartilhamento de informações, também pode ser possível captar a opinião da população sobre o desempenho da rede atual e futura de estabelecimentos de ensino em relação a vários fatores e armazená-la em um banco de dados. Essa informação pode ser utilizada tanto para alimentar um modelo que incorpore as preferências dos usuários quanto para construir o modelo de avaliação global mencionado na etapa de avaliação e seleção da melhor alternativa.

4.5 Metodologias Multicritério de Apoio à Decisão

Os métodos tradicionais de resolução de problemas de decisão foram desenvolvidos pela área de Pesquisa Operacional (PO) e apresentam como principais características a racionalidade e a busca pela solução ótima. Esses métodos classificam os problemas em categorias, as quais possuem procedimentos de resolução padrão. Dessa forma, a subjetividade dos envolvidos no processo

decisório é totalmente excluída e o decisor que não seguir os resultados prescritos é considerado irracional (ENSSLIN; MOTIBELLER NETO; NORONHA, 2001).

A partir dos anos 80, a comunidade científica passou a considerar que a PO tradicional é adequada somente à resolução de problemas bem definidos, sendo incapaz de lidar com situações complexas. As situações complexas se caracterizam pela ocorrência de uma das seguintes situações ou da combinação delas (CHURCHILL, 1990 apud ENSSLIN; MOTIBELLER NETO; NORONHA, 2001, p. 9):

1. Envolvem incertezas sobre o caminho a seguir, sobre quais os objetivos a serem alcançados, sobre quais as diferentes alternativas de solução, sobre os grupos de pessoas envolvidas e/ou atingidas pela decisão;
2. Há conflitos de valores e objetivos entre os múltiplos grupos interessados na decisão;
3. Existem diferentes relações de poder entre os grupos de interesse envolvidos no processo decisório;
4. Devem ser levados em conta múltiplos critérios na avaliação das alternativas que, a princípio, não estão claros;
5. Envolvem quantidade esmagadora de informações, tanto quantitativas quanto qualitativas, que devem ser levadas em conta no processo decisório;
6. As informações disponíveis, apesar da grande quantidade, são usualmente incompletas;
7. Exigem soluções criativas e, muitas vezes, inéditas.

Para sanar a deficiência em lidar com situações complexas, a PO evoluiu dando origem a uma nova área de pesquisa, conhecida como metodologias multicritérios, na qual se enquadra a metodologia Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA – Multi-Criteria Decision Aiding) que será explorada neste capítulo (ENSSLIN; MOTIBELLER NETO; NORONHA, 2001).

Noronha (2003, p. 53) considera que *“o uso de múltiplos critérios não significa uma simples generalização das abordagens tradicionais monocritério, mas sim um novo paradigma para analisar contextos decisórios complexos e para auxiliar no apoio à tomada de decisão”*. A utilização de diversos critérios reflete positivamente no processo de construção de um modelo de apoio à decisão, pelo fato de que o modelo passa a ser capaz de reproduzir de forma estável o juízo de valores dos decisores. Com isso, ele consegue uma maior legitimação e comprometimento por parte dos agentes durante o processo decisório assumindo o papel de base para

discussões, principalmente nos casos em que existem conflitos entre os atores, ou, ainda, quando há falta de clareza sobre qual é o problema a ser resolvido (BOUYSSOU, 1989 apud NORONHA, 2003).

Por esse motivo, um método multicritério empregado no apoio à decisão deve ser simples, de maneira que o seu grau de complexidade não impeça a compreensão do seu funcionamento por parte do decisor. Métodos do tipo “caixa preta”, isto é, que não permitem que o decisor compreenda como a solução foi obtida devem ser evitados, sob pena da perda de reconhecimento da utilidade do método como ferramenta para auxiliar no processo de tomada de decisão (BRANS; MARESCHAL, 1990 apud NORONHA, 2003).

4.5.1 Paradigma científico adotado

Um paradigma científico é responsável por determinar a legitimidade dos problemas e métodos de uma determinada área de pesquisa. No caso do uso de modelos formais, seja para apoiar a decisão, como é o caso da metodologia MCDA, seja para tomar a decisão, como ocorre na Pesquisa Operacional (PO), o paradigma é importante para definir as regras de trabalho, como por exemplo: quais métodos podem ser utilizados, que tipos de problema serão resolvidos, qual o objetivo desejado, como encarar as informações e os decisores. Logo, um paradigma definirá os problemas em relação aos quais determinada área de pesquisa possui competência e atribuições para intervir, assim como as teorias e modelos válidos para atacá-los (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001).

O paradigma construtivista, adotado pela metodologia MCDA, tem como pressuposto mais forte o fato de reconhecer a importância da subjetividade dos decisores (ROY, 1996). Nessa abordagem assume-se que as pessoas desenvolvem continuamente representações mentais a partir do que percebem da realidade, utilizando o conhecimento (MONTIBELLER NETO, 2000). Logo, um problema pertencerá à pessoa que o construiu a partir de observações feitas sobre determinados eventos (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001). Com relação a isso, Landry (1995 apud Sannemann, 2001, p. 17) argumenta que:

Até certo ponto um problema resulta de um ato deliberado da mente na busca por adaptação. Os problemas não são dados nem criados. Estes são identificados e retidos pelo sujeito. A formulação do problema, implica na

construção pelo sujeito de uma representação do objeto concreto que é a origem pela busca de adaptação. Esta construção não é neutra. Esta tem a adaptação como objetivo e conduz a escolha de uma representação específica.

Nessa abordagem não existe um problema real, mas sim um problema construído. Esse argumento é decorrente da consideração de que os eventos são reais, mas a interpretação dada a eles é altamente subjetiva, variando de pessoa para pessoa. Com isso, a visão construtivista admite a possibilidade de um determinado evento significar ao mesmo tempo um problema para uma pessoa e uma oportunidade para outra (EDEN et al., 1983 apud NORONHA, 2003).

Dessa forma, decisores diferentes percebem e interpretam as mesmas situações de forma diferente. Percebem de forma diferente, porque cada um tem seu próprio quadro de referência mental¹⁴. Interpretam de forma diferente porque cada decisor tem diferentes valores, objetivos, crenças, relações sociais e de poder (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001).

O foco do construtivismo, portanto, está em entender o problema dos decisores, visando a estruturá-lo a partir da clarificação dos aspectos considerados por eles como fundamentais no processo decisório e da identificação da repercussão das alternativas sobre esses aspectos. Esse processo favorece o desenvolvimento de conhecimento dos decisores sobre o seu problema (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001).

Como resultado do processo decisório são geradas recomendações sobre como agir para alcançar os objetivos dos atores envolvidos, no lugar de prescrições rígidas de como o decisor deve proceder. Diante disso, o construtivismo é considerado a base para a ciência do apoio à decisão (ROY, 1993).

4.5.2 Fundamentos da metodologia MCDA

▪ Subjetividade

¹⁴ O quadro de referência mental (QRM) é o mecanismo responsável por filtrar as informações captadas do contexto decisório pelo tomador de decisão (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001).

Ao contrário da PO tradicional, a metodologia MCDA apresenta como uma de suas principais características a preocupação com a subjetividade. Essa abordagem considera indispensável a incorporação dos aspectos subjetivos no processo de apoio à tomada de decisão, pois acredita que dessa forma as decisões tomadas podem ser melhor justificadas aos demais envolvidos no processo decisório e as repercussões de cada uma das alternativas disponíveis podem ser analisadas segundo os objetivos dos atores envolvidos (ENSSLIN; MOTIBELLER NETO; NORONHA, 2001).

Isso não significa que os aspectos objetivos do processo de apoio à decisão são negligenciados pela metodologia MCDA; pelo contrário, ela considera que existe um estado de interpenetração e inseparabilidade entre os elementos de natureza objetiva e os de natureza subjetiva. Essa afirmação é confirmada pelo argumento de Bana e Costa (1993, p. 12):

Um processo de decisão é um sistema de relações entre elementos de natureza objectiva próprios às ações e elementos de natureza subjetiva próprios aos sistemas de valores dos atores. Um tal sistema é *indivisível* e, portanto, um estudo de suporte à decisão não pode negligenciar nenhum destes tipos de aspectos.

Segundo Beinat (1995 apud Ensslin, 2002), o conhecimento científico (aspectos objetivos) e o julgamento humano (aspectos subjetivos) desempenham papéis complementares na tomada de decisão. O primeiro oferece um entendimento de partes de um problema complexo. Já o segundo é capaz de oferecer a percepção do todo, mas sem manter o mesmo nível de detalhe, precisão e acurácia alcançado no trato de uma única questão do problema.

■ ***O conhecimento como base de estruturação do problema***

Outra característica da metodologia MCDA que a difere das metodologias tradicionais de resolução de problemas é o fato dela não considerar que exista um problema pronto para ser modelado antes do início do processo de apoio à tomada de decisão. É dada ênfase a um melhor entendimento do problema apresentado pelos decisores, através do desenvolvimento de conhecimento para propiciar a estruturação do problema (ENSSLIN; MOTIBELLER NETO; NORONHA, 2001).

■ ***Busca pela solução mais adequada às necessidades do decisor***

A metodologia MCDA não se propõe a encontrar uma solução ótima para um problema, mas sim a compreender melhor a situação decisória, buscando uma solução que melhor se adeque às necessidades do decisor, considerando seu juízo de valor. Nem tampouco considera que os critérios de avaliação das alternativas já estejam definidos previamente. Pelo contrário, parte do princípio de que os envolvidos na decisão é que devem definir qual é o problema a ser resolvido e quais critérios devem ser utilizados na avaliação de alternativas. Considera-se imprescindível a participação dos envolvidos na construção do modelo de avaliação de alternativas para produzir resultados satisfatórios. Logo, as soluções para os problemas não são prescritas considerando-se os decisores como racionais. Em vez disso, são geradas recomendações que atendam aos valores e interesses dos envolvidos no processo decisório.

Contudo, a participação dos envolvidos no processo de apoio à tomada de decisão deve ser apoiada por profissional competente, via procedimentos formais (ENSSLIN; MOTIBELLER NETO; NORONHA, 2001).

4.5.3 O apoio à decisão

O objetivo da metodologia MCDA é apoiar a decisão, e não tomar a decisão como ocorre na PO tradicional. O apoio à decisão consiste em investigar o contexto do problema, visando a obter respostas e informações para as questões que surgem durante a evolução do processo decisório. Esse processo envolve a participação de dois atores: o facilitador, que tem a função de orientar o tomador de decisões na direção das respostas e informações que mais atendam às suas expectativas e apoiá-lo para que este tome decisões mais informadas, fundamentadas e conscientes; e o decisor, que é o responsável por tomar a decisão. Já a tomada de decisão se restringe à escolha, por parte do decisor, da alternativa, dentre um conjunto delas, que melhor atenda a seus objetivos segundo seu juízo de valor. Nesse caso, o único ator a participar das atividades é o decisor (ENSSLIN, 2002).

Para Bana e Costa (1993), a atividade de apoio à decisão é considerada como o diferencial central entre a metodologia MCDA e outras metodologias de resolução de problemas e é assim descrita:

[...] a actividade de apoio à decisão não procura modelizar uma realidade exterior e preexistente. Ela insere-se no processo de decisão e visa à construção duma estrutura partilhada pelos intervenientes nesse processo, partindo depois para a elaboração de um modelo de avaliação, seguindo uma abordagem interactiva, construtiva e de aprendizagem, e não assumindo um posicionamento optimizante e normativo (BANA e COSTA, 1993, p. 17-18).

Pelo fato de estar voltada para o processo de apoio à decisão, a metodologia MCDA acaba por reunir alguns aspectos únicos, a saber (Ensslin, 2002, p. 148):

1. Os decisores constituem-se como os elementos centrais, sem os quais, a atividade, e a metodologia MCDA, perde sua razão de ser;
2. Seu objetivo central é possibilitar aos intervenientes, envolvidos no processo decisório, gerar aprendizagem propiciada pelo grau de entendimento possibilitando no decorrer do processo, informado tanto pelo *sistema de valor* quanto pelos *objetivos* dos decisores;
3. Sua preocupação central é *desenvolver um conjunto de condições e meios* ("keys") que sirvam de base para as decisões, em função daquilo que o decisor *acredita ser o mais adequado*, dentro de um dado contexto (ROY, 1993 apud ENSSLIN, 2002 p. 148).

Em resumo, a metodologia MCDA consiste em uma abordagem prática voltada para a geração de conhecimento direcionada ao entendimento de questões complexas, visando o aprendizado para: construir uma estrutura do problema negociada entre os atores; construir um modelo de avaliação; elaborar recomendações; e decidir qual ação implementar (ENSSLIN, 2002).

4.5.4 O processo de apoio à decisão

Para a abordagem adotada pela metodologia MCDA, a decisão ocorre através de um processo evolutivo que acontece ao longo do tempo, e não em um ponto determinado do tempo como assume a PO tradicional. Esse processo se dá de forma caótica, apresentando inúmeras confrontações e interações entre as preferências dos atores envolvidos (ROY, 1996). Nesse contexto, o conceito de decisão não pode ser completamente separado do processo de decisão, visto que:

Um processo de apoio à decisão é um sistema aberto de que são componentes os atores e os seus valores e objetivos, e as ações e as suas características. A atividade de apoio à decisão pode então ser vista como um processo de interação com uma situação problemática "mal estruturada" onde os elementos e as suas relações emergem de forma mais ou menos caótica (BANA e COSTA, 1995 apud NORONHA, 2003, p. 56).

O sistema do processo de apoio à tomada de decisão é composto por dois subsistemas inter-relacionados: o subsistema de atores, que representa elementos

subjetivos como os valores dos atores; e o subsistema de ações, que representa elementos objetivos como as características das ações. Esses dois subsistemas integram o ambiente decisional e a sua interação gera a transformação dos valores dos atores em objetivos e fins a serem atingidos e a caracterização das ações. Juntos, esses dois produtos da interação dos subsistemas de ações compõem a chamada nuvem de elementos primários de avaliação, que constitui a base de estruturação do sistema (NORONHA, 2003).

O **subsistema de atores** é composto pelas entidades envolvidas, direta ou indiretamente, no processo decisório (BANA e COSTA, 1995 apud NORONHA, 2003). Os atores (que na literatura inglesa são denominados “stakeholders”) são “aquelas pessoas, grupos e instituições que têm uma posição no processo decisório, ou seja, que têm interesses nos resultados da decisão” (ENSSLIN; MOTIBELLER NETO; NORONHA, 2001, p.18). Para Roy (1996) um indivíduo ou grupo de indivíduos é um ator de um processo decisório se, por meio do seu sistema de valores, ele influencia de maneira direta ou indireta na decisão. Essa influência pode se dar através do sistema de valores, refletido nos interesses do indivíduo ou grupo de indivíduos. Mas um indivíduo pode também se tornar ator simplesmente pelo fato de utilizar o seu sistema de valores para influenciar os outros indivíduos. Dessa forma, o sistema de valores é um sistema que sustenta em profundidade os julgamentos de valor de um indivíduo ou de um grupo. Esse sistema de valores condiciona a emergência de preocupações assim como a formação dos *objetivos* e *normas* que muitas vezes são apresentados para justificar ou hierarquizar os julgamentos de valor bem como os comportamentos em um processo decisório. Os comportamentos são a expressão mais tangível deste sistema de valores em um processo decisório.

Cabe ressaltar que um grupo de indivíduos só será considerado um mesmo ator se não for possível diferenciar seus sistemas de valores, sistemas informacionais e redes de relacionamentos (ENSSLIN; MOTIBELLER NETO; NORONHA, 2001).

As redes de relações entre os atores têm um caráter dinâmico e instável admitindo modificações ao longo do processo de apoio à decisão, isto é, recursividade. Isso ocorre porque de regra os atores não possuem necessariamente suas convicções e preocupações previamente definidas, pelo menos de forma clara e organizada,

ocorrendo assim uma realimentação no decorrer do processo de apoio à decisão conforme surjam novas informações e fatos. As relações entre os atores são instáveis por seus sistemas de valores não serem fixos, e sim voláteis, já que os valores de cada ator e a forma estratégica como são revelados podem ser influenciados interativamente pelos atores (ROY, 1996).

De acordo com a função que desempenham no processo decisório, os atores podem ser classificados de acordo com o Quadro 4.2 (BANA e COSTA, 1995 apud NORONHA, 2003):

Atores		Função no processo decisório
Intervenientes	Decisores	Detêm formalmente o poder e a responsabilidade pela decisão e por suas conseqüências, sejam elas positivas ou negativas. Interferem diretamente sobre a decisão através do seu juízo de valores.
	Demandeurs	Representam o decisor no processo decisório. Quando existe a presença do demandeur, não há contato direto entre decisor e facilitador, sendo a comunicação entre ambos intermediada pelo <i>demandeur</i> .
	Facilitador	Consultor externo que apóia o processo de tomada de decisão utilizando uma metodologia explícita e formal. Possui um grau de ingerência variável no processo decisório, devendo buscar o maior grau de neutralidade possível.
Agidos		Sofrem passivamente as conseqüências da decisão tomada. Apesar de não possuírem voz ativa no processo decisório, podem influenciar indiretamente na decisão.

Quadro 4.2 – Função dos atores no processo decisório.

É interessante ressaltar que o facilitador tem um papel importante no processo de apoio à decisão, no sentido de ampliar ou fazer crescer os domínios habituais do decisor. Ele deve procurar gerar consenso entre os atores (intervenientes) do

processo de apoio à decisão, esclarecendo o decisor sobre as conseqüências dos diferentes comportamentos que este possa vir a assumir e eventualmente prescrever (recomendar) uma ou uma série de ações ou ainda uma metodologia (PETRI, 2000).

No **subsistema de ações** os valores dos atores são concretizados, isto é, são determinadas e caracterizadas as ações necessárias para se alcançar os objetivos, interesses, preocupações apontados pelos atores frente ao contexto. Uma ação pode ser definida como:

Uma representação de uma eventual contribuição à decisão global, susceptível, face ao estado de avanço do processo de decisão, de ser tomada de forma autônoma e de servir de ponto de aplicação à atividade de apoio à decisão (BANA e COSTA, 1995 apud NORONHA, 2003).

Um exemplo bastante simples para ilustrar a definição das ações é o da compra de um carro. Nesse caso, as ações seriam os diversos modelos de automóveis disponíveis no mercado (ENSSLIN; MOTIBELLER NETO; NORONHA, 2001). Outro exemplo, cujo conteúdo está relacionado com este trabalho, é o da escolha do local mais adequado para a implantação de um equipamento de ensino. As ações poderiam ser os locais livres de barreiras físicas, com condições ambientais adequadas, de boa acessibilidade, etc.

As ações podem ser classificadas em: a) reais – originadas de um projeto acabado, passível de ser implantado, ou seja, de execução bastante razoável; e b) fictícias – oriundas de um projeto inacabado, idealizado ou imaginário. Elas podem apresentar objetivos discordantes do contexto em estudo, desde que sirvam ao raciocínio e discussão do apoio à decisão (ROY, 1996).

As ações reais e fictícias podem ser eleitas pelo decisor como ações potenciais. Segundo Vincke (1992 apud Noronha, 2003, p. 58), “ações potenciais são alternativas viáveis passíveis de serem analisadas por um modelo multicritério em apoio à decisão”. Uma ação potencial pode ainda ser definida como “uma ação real ou fictícia provisoriamente julgada realista por um ou vários atores, ou assumida como tal pelo facilitador, tendo em vista fazer evoluir o processo de apoio à decisão” (ROY, 1985 apud PETRI, 2000, p. 28). O conjunto de ações potenciais é o ponto de aplicação dos valores dos atores para a construção de um modelo de apoio à decisão (BANA e COSTA, 1993).

4.5.5 O processo de modelagem dos problemas de decisão

Tanto a Pesquisa Operacional quanto as metodologias de Apoio à Decisão utilizam modelos formais para resolver problemas. A metodologia MCDA considera o modelo como uma representação que é aceita como útil pelos decisores com o propósito de apoiar sua decisão, isto é, desenvolver seu entendimento a respeito de um dado contexto decisório. Ele funciona como uma ferramenta considerada útil pelo decisor para organizar a situação, desenvolver convicções e servir a comunicação (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001).

Sendo assim, o objetivo da modelagem passa a ser gerar, consolidar e alterar o conhecimento dos decisores, individualmente, assim como equalizar os conhecimentos do grupo através do aprimoramento da comunicação entre seus membros (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001). Para isso, os modelos devem servir como ferramentas nas quais os decisores possam apoiar suas decisões, na forma que eles considerem mais adequada segundo seus sistemas de valores. Tais modelos devem ter conceitos rigorosos, ser bem formalizados, apresentar procedimentos de cálculo precisos e resultados axiomáticos sólidos (ROY, 1993).

Conseqüentemente, os resultados obtidos a partir do modelo são apenas recomendações, que pela sua própria natureza podem (ou não) ser seguidas pelos decisores. Essas recomendações não indicam a “solução ótima” do “problema real”; elas são indicações originadas de conclusões bem fundamentadas e de convicções construídas durante o processo de apoio à decisão (ROY, 1993).

Os modelos e o processo de modelagem podem gerar conhecimento aos decisores, em particular das seguintes formas (ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001, p. 30):

1. Separando conclusões robustas de conclusões frágeis;
2. Dissipando mal-entendidos que possam ocorrer na comunicação entre os decisores;
3. Enfatizando, uma vez entendidos, resultados onde não haja controvérsia.

Quando não se envolvem os decisores no processo de construção de um modelo dois grandes problemas podem surgir. O primeiro diz respeito ao fato de que o

modelo pode não levar em conta as aspirações e objetivos do decisor, possivelmente modelando um problema que não é o dele. O segundo refere-se ao fato de não haver um processo de legitimação do modelo, podendo ocorrer, com isso, resistências à implantação das soluções por ele fornecidas (EDEN; SIMS, 1979 apud ENSSLIN; MONTIBELLER NETO; NORONHA, 2001).

4.5.6 Fases do processo de apoio à decisão segundo a metodologia MCDA

O processo de apoio à decisão desenvolvido segundo a metodologia MCDA é composto de três fases: estruturação, avaliação e recomendações. Ele será explorado com detalhes no item 5.3.3.1 - Aplicação da metodologia MCDA para a determinação da tensão existente nos espaços públicos abertos .

5 Metodologia para a estruturação conceitual de um modelo de localização de estabelecimentos de ensino

Nos capítulos anteriores foram apresentadas fundamentações teóricas sobre duas questões de naturezas bastante distintas que precisam ser consideradas na estruturação do modelo que está sendo proposto neste trabalho. A primeira questão, tratada nos capítulos 2 - Questões educacionais relacionadas com a localização de estabelecimentos de ensino e 3 - O espaço urbano e a localização de estabelecimentos de ensino, diz respeito aos aspectos técnicos que devem ancorar as análises que serão realizadas pelo modelo. E a segunda, abordada no capítulo 4 - Ferramentas computacionais e técnicas empregadas em análises locacionais, se refere aos aspectos operacionais da ferramenta relacionados à implementação, componentes e operações.

A metodologia desenvolvida neste trabalho reúne os conhecimentos técnicos e operacionais, apresentados anteriormente, na realização de 6 etapas necessárias à estruturação conceitual do modelo de localização, conforme mostra a Figura 5.1. Nela é apresentado o esquema geral da metodologia.

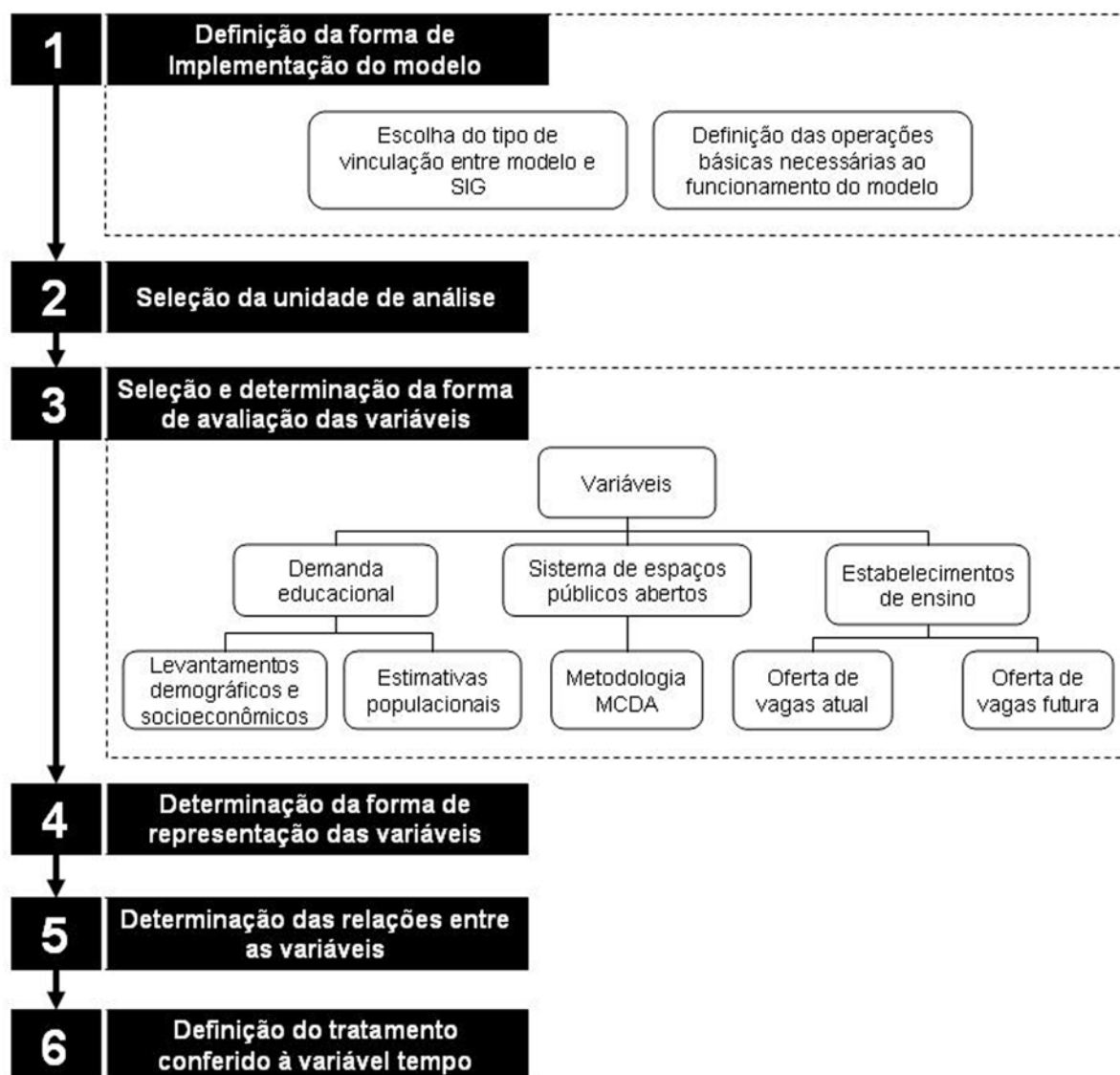


Figura 5.1 – Esquema geral da metodologia de estruturação do modelo de localização de estabelecimentos de ensino.

5.1 Definição da base de operacionalização do modelo

Uma das questões mais importantes a serem consideradas quando do desenvolvimento de um modelo é a sua forma de implementação, isto é, o tipo de software que será utilizado, o tipo de vinculação entre o modelo e o software, a linguagem de programação, entre outros detalhes operacionais. Essas decisões exercem influência sobre etapas subseqüentes do processo de estruturação de um modelo e, portanto, devem ser tomadas levando-se em conta o esquema de funcionamento geral que se deseja para a ferramenta. Uma atenção especial deve ser dada: ao tipo de dado que será trabalhado pelo modelo; às ferramentas de manipulação, análise e armazenamento de dados necessárias ao funcionamento do

modelo; às operações que deverão ser executadas por ele; ao tipo de interface com o usuário; e à viabilidade financeira da implementação.

Nesse momento é interessante retomar a discussão apresentada no item 4.4 - Sistemas Espaciais de Suporte à Decisão sobre a intenção de que o modelo proposto neste trabalho venha a fazer parte (compor) de um SDSS e sobre as vantagens oferecidas pela implementação de modelos em SIGs.

Lá argumentou-se sobre a complementariedade existente entre essas duas ferramentas, principalmente, quando se trata de aplicações em planejamento urbano (WEGENER, 1998; SUI, 1998; HARRIS; BATTY, 1992).

O equilíbrio entre os pontos fracos e os pontos fortes de ambos resulta no aumento do potencial analítico e na melhora do desempenho do funcionamento dos modelos, já que as ferramentas de análise espacial do SIG podem ser utilizadas na preparação e na geração de dados para servirem como *inputs* dos modelos. Também, as funções analíticas do SIG podem ser aproveitadas para executar operações que deveriam ser realizadas pelo modelo, o que exigiria um esforço extra em programação. A representação topológica e georreferenciada dos dados dentro do SIG permite um maior refinamento da sua representação espacial, resultando na melhora do funcionamento do modelo. Além disso, as ferramentas do SIG permitem ao usuário uma visualização imediata dos resultados gerados pelo modelo, facilitando o entendimento do significado da informação através de uma variedade de formatos de apresentação.

5.1.1 Forma de implementação

Analisando a estrutura básica de um SDSS apresentada também no item 4.4.2 - Estrutura de um SDSS, é possível perceber que os três subsistemas que o compõem podem ser desenvolvidos nos SIGs mais atuais, sendo que o DBMS obrigatoriamente. Os outros dois sistemas podem ser construídos a partir de ferramentas específicas de programação avançada, para a confecção de sub-rotinas, no caso dos MBMS; e para a personalização da interface, de comandos, etc., no caso dos DGMS (YATES; BISHOP, 1998).

Por esse motivo, apesar de não haver nenhuma obrigatoriedade dos SIGs integrarem um SDSS, este trabalho considera que esses sistemas possuem um papel fundamental na estrutura de qualquer sistema de apoio à decisão e ao planejamento, já que possuem ou podem se comunicar com todas as ferramentas necessárias à estruturação de um SDSSs. Segundo Batty e Densham (1996, p.5):

A vantagem de se utilizar SIG para estruturar a modelagem de simulações está no modo como este software é neutro em relação às suas fontes de dados. Uma vez que funções genéricas de análise tenham sido estruturadas, estas podem ser aplicadas a dados coletados, a resultados de modelos, predições, projetos, qualquer coisa.

A consideração de que o SIG é a peça-chave de um SDSS condiciona a implementação do modelo proposto ao SIG, confirmando o objetivo geral do trabalho. Existem duas maneiras básicas de realizar a vinculação de modelos urbanos a SIGs: vinculação fraca e vinculação forte (BATTY, 1992; KARIMI; HOUSTON, 1997; BENNETT, 1997).

Na primeira delas, a **vinculação fraca** (*loosely coupled*), a comunicação entre modelos e SIG se dá a partir da transferência de arquivos entre ambos (Figura 5.2). Nesse caso, o SIG tem as funções principais de gerar arquivos de entrada de dados num formato compatível com o que é reconhecido pelos modelos e de receber os resultados da análise para serem interpretados, manipulados e visualizados (BENNETT, 1997). Esse tipo de estrutura é a mais utilizada nos sistemas de suporte à decisão que normalmente exploram as funções cartográficas e de georreferenciamento do SIG, mas que freqüentemente não aproveitam suas capacidades analíticas (KARIMI; HOUSTON, 1997).

O processo de vinculação entre as ferramentas analíticas e o SIG pode requerer a customização de ferramentas para formatar arquivos de dados. Segundo Bennett (1997), a vinculação fraca falha: a) em oferecer uma interface consistente com o usuário que pode ser amigável no SIG e não no modelo e vice-versa; b) em oferecer uma estrutura de dados consistente; c) no suporte para o desenvolvimento e modificações nos modelos; e d) na interação com o usuário durante o processo de simulação. Em contrapartida, oferece flexibilidade aos desenvolvedores de modelos

na escolha de quais modelos integrar e liberdade para definir a interface do modelo com o usuário (KARIMI; HOUSTON, 1997).

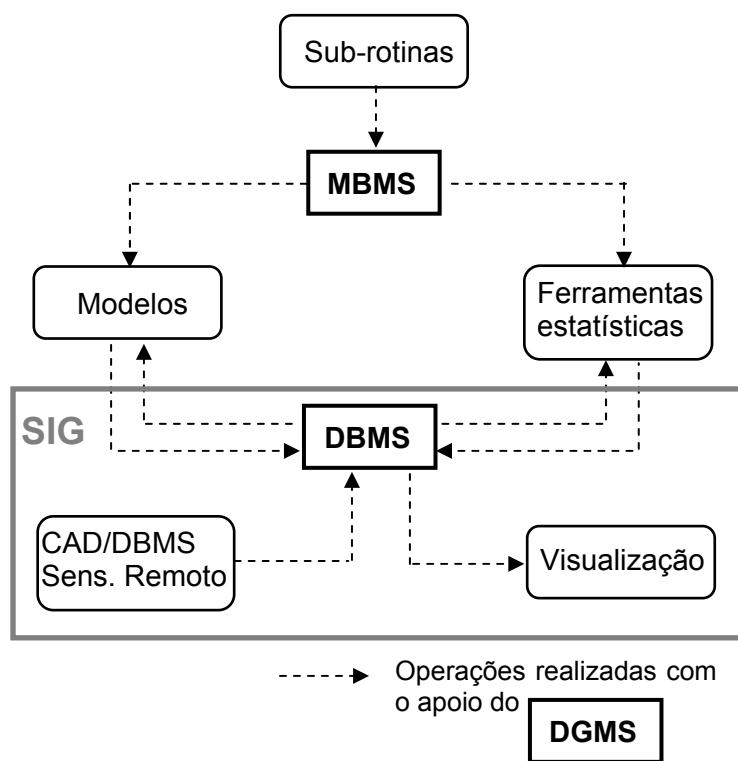


Figura 5.2 – Integração entre SIG e ferramentas analíticas por vinculação fraca.

Na segunda forma, a **vinculação forte** (*tightly coupled*), os modelos são desenvolvidos inteiramente dentro do SIG a partir de ferramentas de programação, cada vez mais evoluídas quanto à incorporação de linguagens de programação gerais, fugindo de linguagens criadas especificamente para um determinado SIG (Figura 5.3). A vinculação forte é extremamente vantajosa para os casos em que os modeladores dependem das funções analíticas presentes nos SIGs. Dentre as vantagens estão o acesso direto à base de dados espaciais, a possibilidade de integração completa entre dados dos modelos e outros dados e a visualização imediata dos resultados dos modelos (KARIMI; HOUSTON, 1997).

Nesse caso, a vinculação é invisível ao usuário, uma vez que existe uma interface única para todas as operações: a interface do SIG. Esta é personalizada para oferecer comandos que acessam rotinas criadas para realizar as operações analíticas dos modelos. As rotinas podem tanto estar dentro do arquivo, armazenadas como macros, quanto em arquivos separados, funcionando como módulos que são carregados apenas quando necessário (SABOYA, 2001).

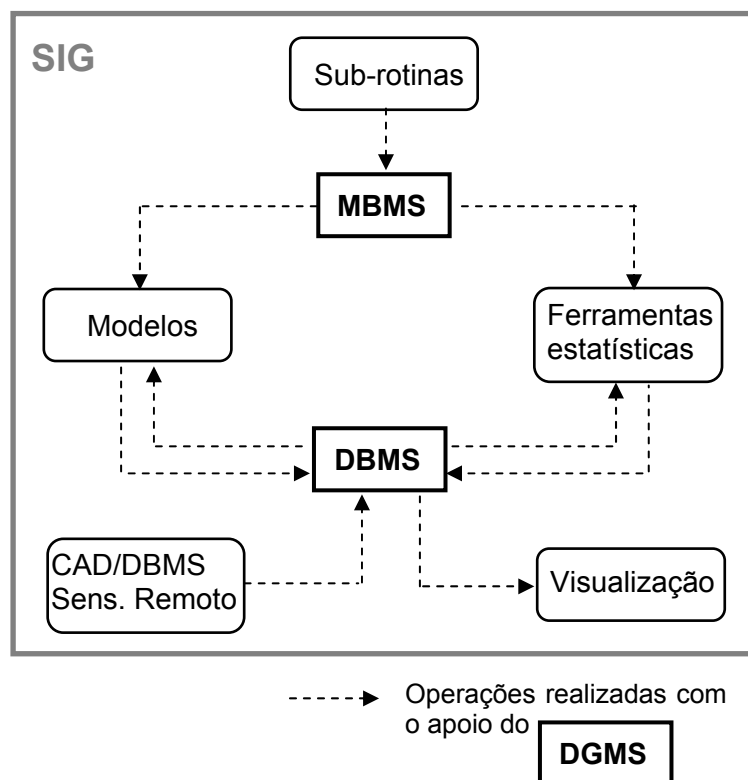


Figura 5.3 – Integração entre SIG e ferramentas analíticas por vinculação forte.

Essa é, a princípio, considerada a forma “ótima” de vinculação entre modelos e SIG. Mas para apresentar um bom desempenho, é necessário que haja uma boa interface entre o usuário e as estruturas de dados utilizadas por ele (SUI, 1998). Segundo SABOYA (2001), isso acarreta a necessidade de que a forma de acesso e o preparo dos dados espaciais para a alimentação dos modelos sejam cuidadosamente pensados, não apenas segundo sua lógica de funcionamento, mas também considerando a percepção do usuário.

Considerando as vantagens e desvantagens de cada técnica de vinculação, nessa etapa de estruturação do modelo opta-se a princípio pela vinculação forte (*tightly coupled*) para realizar a implementação do modelo. A confirmação dessa escolha, no entanto, só será possível numa fase posterior de implementação propriamente dita, quando serão conhecidas as limitações do software, da linguagem de programação e de outros fatores envolvidos no processo.

5.1.2 Operações básicas necessárias ao funcionamento do modelo

Estabelecida a forma de implementação do modelo, o passo seguinte é definir as operações que são necessárias para o funcionamento do modelo e a responsabilidade por executá-las.

Basicamente três operações são necessárias para garantir a aplicação do modelo dentro do SIG: a) operações de alimentação do modelo; b) operações de armazenamento dos resultados do modelo; e c) operações de análise dos resultados (Figura 5.4). Partir-se-á do princípio de que todas as operações deverão ser realizadas pelas ferramentas presentes nos SIG evitando, dessa forma, esforços extra em programação.

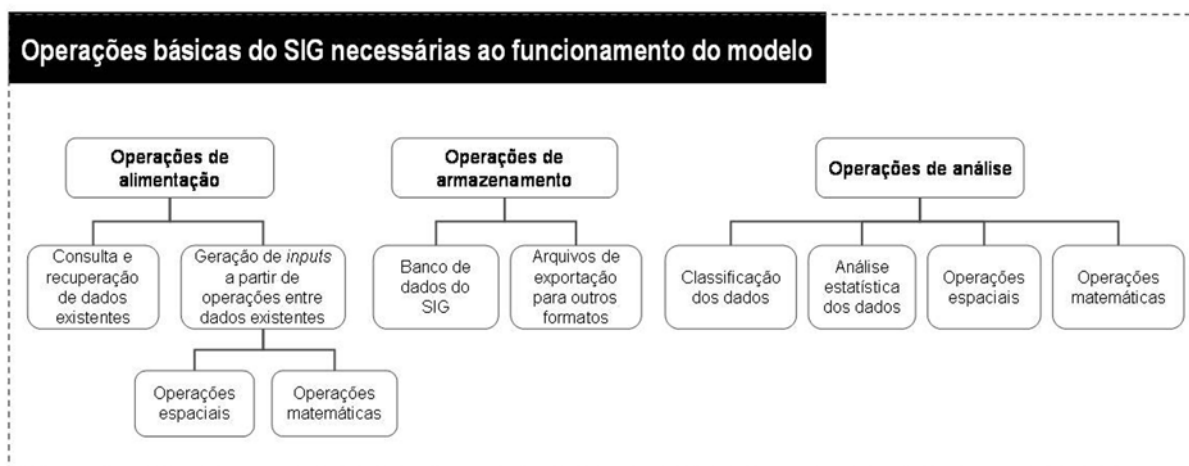



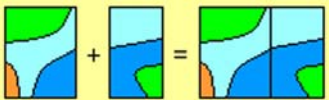

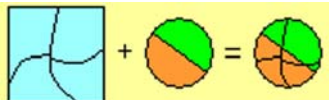
Figura 5.4 – Operações básicas do SIG necessárias ao funcionamento do modelo.

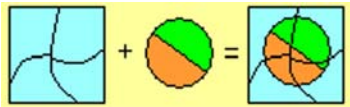

As **operações de alimentação** do modelo devem poder ser realizadas de duas formas. Na primeira, a alimentação se dá a partir da realização da **consulta (querie) e recuperação de dados existentes**, que foram inseridos previamente no SIG via DBMS, sensoriamento remoto e CAD ou pelo preenchimento das tabelas do banco de dados do próprio SIG (MAGUIRE; DANGERMOUND, 1991). Exemplos de dados que poderiam ser utilizados diretamente como *input* para um modelo de localização como o apresentado aqui através de uma consulta simples ao banco de dados são a demanda educacional e a oferta de vagas para um dado nível de ensino de uma determinada rede de atendimento (pública ou privada). No entanto, para que sejam diretamente capturados pelo modelo, é necessário que ambos se encontrem

organizados segundo as mesmas classes (nível de ensino e rede de atendimento) trabalhadas pelo modelo e vinculadas à mesma unidade de análise.

Caso contrário será necessário proceder a uma segunda forma de alimentação, na qual os dados que servirão como *input* para o modelo não se encontram no formato adequado ou mesmo não existem, precisando ser gerados a partir de operações que combinam os dados espaciais e alfanuméricos existentes. As operações podem ser de duas naturezas: operações espaciais e operações matemáticas (MAGUIRE; DANGERMOUND, 1991).

As **operações espaciais** são realizadas sobre os elementos (dados) espaciais contidos no SIG. Podem ser necessárias uma ou mais de uma camada de informação (ou *layer*) que contenham os elementos espaciais para que a operação seja realizada, dependendo do seu tipo. As operações espaciais mais comuns e sua descrição são apresentados no quadro abaixo.

Operação espacial	Descrição
Dissolve 	Agrega elementos espaciais de uma mesma <i>layer</i> que possuam o mesmo valor para um determinado atributo.
Merge 	Une em uma única <i>layer</i> os elementos espaciais de duas ou mais <i>layers</i> e retém os atributos se eles tiverem o mesmo nome.
Clip 	Utiliza uma <i>layer</i> para cortar uma outra em função dos seus limites. Os atributos da <i>layer</i> que recebe o recorte são mantidos.
Intersect 	Utiliza uma <i>layer</i> para cortar outra em função dos seus limites, mas nesse caso a <i>layer</i> resultante reúne os elementos espaciais de ambas as <i>layers</i> .

<p>Union</p> 	<p>Combina os elementos espaciais de duas <i>layers</i> para gerar uma terceira <i>layer</i> que contém os atributos e a extensão completa de ambas.</p>
<p>Buffer</p> 	<p>Desenha anéis ao redor de elementos espaciais a uma distância especificada.</p>

Quadro 5.1 – Operações espaciais básicas realizadas por Sistemas de Informações Geográficas.

E as **operações matemáticas** são realizadas sobre os dados alfanuméricos contidos nas tabelas do banco de dados do SIG. Elas podem variar desde operações básicas de soma, multiplicação e divisão até operações complexas utilizando equações e expressões escritas em códigos de programação que podem ser facilmente carregadas e rodadas dentro da ferramenta de cálculo das tabelas.

As **operações de armazenamento de dados** do modelo devem permitir que os resultados numéricos produzidos possam ser registrados no próprio banco de dados do SIG, mas também que possam ser armazenados em arquivos de formato genérico (como por exemplo .txt ou .dbf) que são lidos por outros software de manipulação de dados. Dessa forma, garante-se que um número maior de usuários tenha acesso às informações fornecidas pelo modelo, mesmo que em um ambiente de análise mais pobre em termos de recursos espaciais. O intercâmbio de informações tem se mostrado como uma das capacidades mais fundamentais que devem estar presentes em ferramentas de análises e de planejamento urbano, dada a multidisciplinaridade da área e a conseqüente diversidade de dados exigida. Logo, a possibilidade de reaproveitamento de dados existentes entre os setores que atuam no ramo do planejamento representa uma significativa redução da duplicação de esforços e um ganho na qualidade das análises (HEIKKILA, 1998). Isso porque muitos órgãos e institutos de planejamento podem utilizar dados que não teriam condições de coletar ou mesmo gerar, produzidos por outros órgãos e institutos.

E finalmente as **operações de análise dos resultados** do modelo devem oferecer recursos mínimos de visualização e de análise de dados para que o usuário possa interpretar e compreender o significado da informação gerada. Como os resultados do modelo podem ser manipulados tanto em termos espaciais quanto em termos numéricos recomenda-se que três tipos de operações sejam realizados: a) classificação; b) análise estatística e; c) operações espaciais e matemáticas de cruzamento de dados, já comentadas.

A **classificação** permite que os elementos espaciais contidos em uma determinada camada de informações sejam categorizados em função de atributos contidos na tabela de dados vinculada a eles. Essa forma de apresentação da informação oferece ao usuário uma melhor compreensão da distribuição espacial dos fenômenos investigados, podendo indicar a existência de novos padrões espaciais e conseqüentemente gerar novos *insights* sobre o processo de funcionamento do sistema estudado (BATTY, 1992).

De maneira geral, as **análises estatísticas** oferecem informações sobre a confiabilidade dos resultados gerados, ou seja, sua correspondência com a realidade. No entanto, uma classe específica desse tipo de análise, conhecida como estatística espacial, pode fornecer indícios sobre o comportamento espacial de uma única variável e sobre a relação espacial de duas ou mais variáveis.

As principais medidas de estatística espacial são: a) medidas de distribuição espacial - descrevem a dispersão, direção, forma e centro da distribuição de uma variável (i.e. Índice de Gini); b) medidas de autocorrelação espacial - descrevem a relação entre localizações diversas, indicando o grau de concentração ou dispersão para uma única variável e; c) medidas de associação espacial - descrevem a correlação ou associação entre duas ou mais variáveis, indicando se a ocorrência de uma delas está relacionada espacialmente com a ocorrência das demais (SABOYA, 2003).

Essas medidas podem ser utilizadas na análise dos resultados do modelo proposto para indicar, por exemplo, o grau de desigualdade da distribuição espacial dos locais mais adequados para abrigar um estabelecimento de ensino ou dos locais que já possuem um estabelecimento alocado. Outra aplicação é na investigação da

existência de relação entre a localização dos piores pontos para a implantação de uma escola e a renda da população residente nesses locais.

5.2 Seleção da unidade de análise

Definidas as questões de caráter operacional, passar-se-á à determinação das questões técnicas envolvidas na estruturação do modelo, a começar pela unidade de análise adotada pelo modelo.

Como mencionado no item 4.2.4 - Modelos urbanos e os problemas de localização, os modelos de localização e de interação espacial, tradicionalmente utilizados no trato da questão locacional, adotam zonas como unidades de análise (ALMEIDA, 1999; LOBO, 2003, YEH; CHOW, 1996; PIZZOLATO; SILVA, 1993). Essas zonas podem ser formadas por polígonos que delimitam áreas homogêneas em termos de: a) fluxos de deslocamento de pessoas e veículos, chamadas de zonas O-D (origem / destino), que são as mais utilizadas; b) aspectos socioeconômicos e demográficos, chamadas de setores censitários; c) aspectos educacionais e físico-espaciais, chamadas zonas escolares, etc.

Apesar de serem delimitadas segundo algum critério de homogeneidade, as zonas podem conter distorções consideráveis em termos de distribuição espacial dos fenômenos que representam. Outra limitação desse tipo de unidade de análise é o alto nível de agregação das variáveis, que implica em muito pouca sensibilidade para captar os efeitos de intervenções específicas no sistema que as contém (NOVAES, 1982).

Diante disso, uma tendência que vem se confirmando é a de substituir as representações discretas do espaço por representações contínuas que captem além das propriedades espaciais dos elementos suas características configuracionais, relativas à localização com um nível apurado de detalhe (WEGENER, 1998). Uma representação desagregada e contínua dos elementos que constituem o espaço urbano permite que seu funcionamento e seu comportamento sejam melhor apreendidos. As relações estabelecidas entre dois ou mais elementos do espaço urbano e entre elementos do espaço urbano e os indivíduos que circulam por eles também podem ser melhor exploradas e fundamentadas.

Esse argumento ganha especial importância no caso de análises locais que se baseiam no deslocamento de pessoas ao longo da malha urbana por distâncias limitadas e relativamente curtas, como é o caso da análise que o modelo proposto neste trabalho deverá realizar.

Um exemplo simples que ilustra a diferença na forma de representação de um fenômeno locacional utilizando unidades de análise agregadas (i.e. zonas O-D) e desagregadas (i.e. trecho de logradouro) é o cálculo da acessibilidade.

No primeiro caso, o dado referente à distância entre dois locais, necessário ao cálculo da maior parte das medidas de acessibilidade, é obtido traçando-se uma linha reta entre os centróides de um par de zonas para representar o trajeto percorrido, como mostra a figura 5.5.

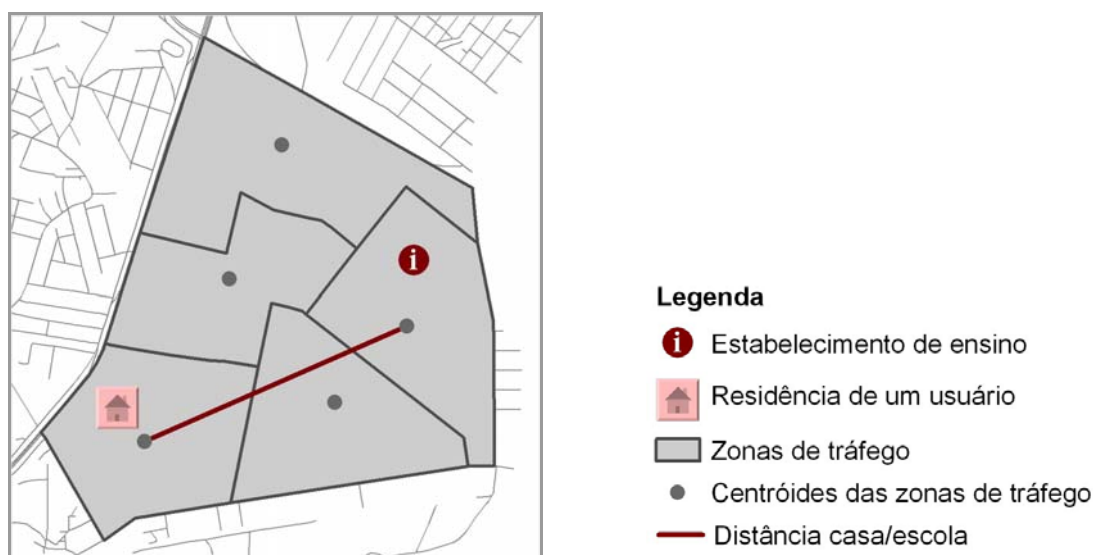


Figura 5.5 – Cálculo da distância entre dois pontos utilizando zonas como unidades de análise.

Essa representação não corresponde ao real percurso realizado por um indivíduo para se deslocar do centróide de uma zona à outra. Ela mascara a distância real percorrida, normalmente muito maior, além da influência que as condições físicas e ambientais do espaço causam sobre a mobilidade, segurança e saúde do indivíduo. Além disso, a representação por zonas só é capaz de captar um único percurso entre duas zonas, o de centróide para centróide, ficando os inúmeros outros percursos possíveis invisíveis às análises.

Já no segundo caso, a distância entre dois locais é obtida traçando-se o menor caminho entre eles (Figura 5.6). O deslocamento ao longo da malha urbana é representado como é realizado por pedestres e veículos, assumindo-se como forma de simplificação que os indivíduos realizarão todos os seus deslocamentos ao longo da estrutura urbana pelo menor caminho que separar os pontos de origem e destino do trajeto.



Figura 5.6 - Cálculo da distância entre dois pontos utilizando trechos de logradouro como unidades de análise.

Dessa forma é possível captar uma quantidade muito maior de percursos, tornando as análises mais refinadas e mais sensíveis aos impactos causados pelos elementos do espaço urbano sobre o deslocamento dos indivíduos.

Tomando como base os critérios capacidade de reproduzir o deslocamento humano ao longo da estrutura urbana e capacidade de captar os efeitos produzidos pelos elementos da estrutura urbana sobre o deslocamento humano optou-se pela seleção do trecho de logradouro como unidade de análise do modelo proposto.

Cabe ressaltar que apesar das vantagens mencionadas essa unidade pode impor restrições à aplicação prática do modelo, devido à necessidade de dados compatíveis com o seu nível de desagregação, muitas vezes de difícil aquisição. Os dados demográficos e socioeconômicos, principalmente, são quase sempre fornecidos por levantamentos realizados sobre setores amostrais de grandes proporções, como é o censo do IBGE. Nesses casos, coloca-se a necessidade de

proceder a uma desagregação dos dados para se conhecer o seu comportamento em relação ao trecho de logradouro, operação que pode provocar distorções e perda da qualidade do dado original.

5.3 Seleção e determinação da forma de avaliação das variáveis

O passo seguinte no processo de estruturação do modelo é selecionar as variáveis que representarão o sistema real que se pretende analisar. Como o modelo irá investigar a localização de estabelecimentos de ensino no espaço urbano, três variáveis parecem necessárias para representar o sistema que compreende esse problema: a) a demanda educacional; b) a cobertura educacional e c) o sistema de espaços públicos abertos.

5.3.1 Demanda educacional

A demanda educacional é considerada a variável principal do sistema. Ela determina no modelo a necessidade de instalação de um estabelecimento de ensino em determinado local, ou pela sua inexistência ou pelo atendimento inadequado de estabelecimentos existentes próximos.

A definição das pessoas que comporão a demanda a ser inserida no modelo depende do propósito e da abrangência da análise que se pretende realizar. Dessa forma é necessário que seja definido o comportamento dos seguintes fatores (descritos no item 2.2.1 - Definição da clientela potencial que compõe a demanda educacional) em relação à análise pretendida: a) abrangência territorial; b) sistema educacional; c) nível de ensino e; d) categoria administrativa da rede de ensino.

A escolha pelo método de determinação da demanda deve ser realizada tomando como base a disponibilidade dos dados requeridos, a compatibilidade entre esses dados, o grau de incidência das distorções série-idade e o grau de incidência de fenômenos migratórios.

5.3.1.1 Cálculo da demanda educacional atual

O cálculo da demanda atual pode ser realizado basicamente de três maneiras de acordo com a origem dos dados utilizados: a) a partir de dados do censo demográfico disponibilizados pelo IBGE; b) a partir de dados de levantamentos

demográficos e socioeconômicos realizados por outros órgãos governamentais ou encomendados à empresas privadas e; c) a partir de dados da clientela potencial, da taxa de escolarização e da matrícula.

No primeiro e no segundo casos são necessários apenas os dados referentes à população por faixa etária para determinar a demanda ou clientela potencial. Isso significa dizer que todas as pessoas que tiverem a idade situada em determinada faixa etária serão usuárias de algum estabelecimento da rede de ensino analisada. No entanto, como mencionado anteriormente, a situação econômica da população exerce uma forte influência sobre a escolha do ingresso da clientela educacional na rede de ensino pública ou privada. Portanto, é recomendado que seja utilizado um fator de correção no cálculo da demanda que multiplique a população em determinada faixa etária pelo percentual da população de baixa e média renda, para o caso da rede pública de educação, e de renda alta, para o caso da rede particular de educação.

Esses métodos são indicados para os casos em que haja pouca disponibilidade de dados populacionais e distorções série-idade pouco importantes. Também podem oferecer bons resultados nos casos em que a distribuição espacial da renda das famílias for bastante desigual ao longo da área analisada, se for utilizado o fator de correção (ARANTES, 2001).

No terceiro caso são necessários, além dos dados sobre a população por faixa etária, dados sobre a matrícula no ano atual, sobre a taxa de escolarização e sobre a meta de escolarização. A clientela potencial (CP) pode ser obtida multiplicando-se a população total (P) pelo percentual da população em determinada faixa etária (f) contido na população total, conforme a equação (ARANTES, 2001):

$$CP = \frac{P \cdot f}{100} \quad (5.1)$$

Outra maneira de se calcular a clientela potencial é através dos dados sobre a matrícula e sobre a taxa de escolarização, como mostra a equação (ARANTES, 2001):

$$CP = \frac{M \cdot 100}{TE} \quad (5.2)$$

Onde:

CP = clientela potencial;

M = matrícula;

TE = taxa de escolarização

A demanda, chamada nesse caso de clientela potencial líquida, é então calculada conforme a seguinte equação (ARANTES, 2001):

$$CPL = \frac{CP.ME}{100} \quad (5.3)$$

Onde:

CPL = clientela potencial líquida;

CP = clientela potencial;

ME = Meta de escolarização

Esse método mostra-se adequado para os casos em que as distorções série-idade sejam significativas, desde que haja disponibilidade dos dados necessários e que as unidades espaciais às quais esses dados estejam vinculados sejam compatíveis.

5.3.1.2 Cálculo da demanda educacional futura

Como a demanda sofre alterações ao longo do tempo provocadas, principalmente, por mudanças nas taxas de crescimento populacional, dependendo do horizonte de tempo para o qual o modelo for aplicado, em alguns casos é necessário proceder também ao cálculo da demanda futura da rede de estabelecimentos de ensino analisada.

São apresentados três métodos de estimativas populacionais para o cálculo da demanda educacional futura: a) método geométrico; b) método das *cohortes survival* e; c) método das componentes demográficas.

O **método geométrico** é o mais usual e de fácil operação (Equação 5.4). Sua única restrição é representar apenas o crescimento vegetativo da população, sem considerar o aumento populacional devido à migração.

$$P = P_2 \cdot \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\left(\frac{t-t_2}{t_2-t_1} \right)} \quad (5.4)$$

Onde:

P_i = população no tempo t_i

Nos casos em que o crescimento populacional sofre alterações moderadas, o próprio método é capaz de absorver as migrações sem distorções muito sérias. Já nas situações em que as taxas de crescimento nos anos imediatamente posteriores forem muito elevadas, qualquer método de estimativa populacional será incapaz de realizar uma boa previsão (ARANTES, 2001).

O **método *cohortes survival*** realiza estimativas independentes para as coortes etárias quinquenais com base em tábuas de vida. Essas estimativas fornecem a probabilidade de um indivíduo em uma dada faixa etária atingir a faixa etária subsequente no período de cinco anos. A vantagem deste método é que ele realiza as estimativas segundo as idades, em contrapartida, exige uma quantidade muito grande de dados e os cálculos são muito numerosos. Além disso, não oferece garantia de resultados confiáveis, principalmente quando o crescimento devido à migrações for significativo (ARANTES, 2001).

E o **método das componentes demográficas**, utilizado pelo IBGE, produz estimativas populacionais para regiões e municípios, a partir da estimativa da população total do Brasil, considerando a participação histórica na formação da estrutura populacional brasileira e um fator de correção que capta movimentos migratórios (IBGE, 2004; ARANTES, 2001).

Ele consiste em, inicialmente, considerar uma área maior cuja população estimada em um momento t é $P(t)$. Em seguida, subdivide-se esta área maior em n áreas menores, sendo que a população de uma determinada área i , na época t , é (IBGE, 2004):

$$P_i(t) ; i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (5.5)$$

Com isso tem-se (IBGE, 2004):

$$P(t) = \sum_{i=1}^n P_i(t) \quad (5.6)$$

Por hipótese, a população desta área i , é decomposta em dois termos: $a_i P(t)$, que depende do crescimento da população da área maior, e b_i . O coeficiente a_i é denominado coeficiente de proporcionalidade do incremento da população da área menor i em relação ao incremento da população da área maior, e b_i é o denominado coeficiente linear de correção. Disso resulta (IBGE, 2004):

$$P_i(t) = a_i P(t) + b_i \quad (5.7)$$

Para determinar esses coeficientes utiliza-se o período delimitado por dois Censos Demográficos t_0 e t_1 , respectivamente. Substituindo-se t_0 e t_1 na equação acima, tem-se (IBGE, 2004):

$$P_i(t_0) = a_i P(t_0) + b_i \quad (5.8)$$

$$P_i(t_1) = a_i P(t_1) + b_i \quad (5.9)$$

Resolvendo o sistema de equações acima, tem-se (IBGE, 2004):

$$a_i = \frac{P_i(t_1) - P_i(t_0)}{P(t_1) - P(t_0)} \quad (5.10)$$

$$b_i = P_i(t_0) - a_i P(t_0) \quad (5.11)$$

Esse método é capaz de captar a dinâmica demográfica que incide sobre a área de análise através da reprodução da dinâmica demográfica de uma área maior. No entanto, requer para isso, a existência de uma projeção populacional, que leve em consideração a evolução das componentes demográficas (fecundidade, mortalidade e migração), para uma área maior que o município, isto é, para a Unidade da Federação, Grande Região ou País.

Além desses métodos, existe ainda um **modelo de reconstituição de fluxos escolares** criado pela UNESCO que é capaz de elaborar projeções de matrículas com base em indicadores de promoção, repetência ou evasão escolar. O modelo pressupõe um sistema fechado e considera três situações possíveis para um aluno em determinado ano, em função do seu desempenho no ano anterior: a) o aluno foi aprovado no ano anterior, sendo considerado promovido; b) o aluno foi reprovado no ano anterior, sendo considerado repetente; e c) o aluno não se matriculou no ano

atual podendo ter sido aprovado, reprovado ou ter abandonado o sistema, sendo considerado evadido (ARANTES, 2003).

Para ser utilizado na estimativa de matrículas futuras, o modelo necessita de dados reais sobre a matrícula para cada série em um determinado ano, de estimativas confiáveis de entrada na 1ª série do ciclo para os anos em que se deseja elaborar a estimativa e das taxas de promoção, repetência e evasão, reais ou projetadas. O método produz estimativas de matrículas para cada série e para cada ano, com a vantagem de incorporar os efeitos da fluidez dos sistemas educacionais e de permitir que sejam realizados testes sobre os efeitos de políticas que afetem a progressão dos alunos no fluxo escolar. No entanto, o modelo não é adequado para estudos de redes independentes (pública e particular) e para situações nas quais tenham ocorrido migrações intensas (ARANTES, 2003).

5.3.2 Estabelecimentos de ensino

A cobertura educacional determina no modelo o local que não necessita de um estabelecimento de ensino alocado a ele, pelo fato de já ser atendido por esse tipo de estabelecimento. Ela é avaliada quantitativamente em termos do número de vagas oferecidas pela rede educacional analisada e pode ser determinada tanto para o momento atual quanto para um momento futuro.

5.3.2.1 Determinação da oferta de vagas atual

O procedimento para determinar a cobertura atual consiste simplesmente em recuperar do banco de dados do SIG, os dados sobre a oferta de vagas existente em cada estabelecimento da rede de ensino atual, caso esse dado esteja vinculado ao trecho de logradouro. Do contrário, será necessário transferir o dado sobre a oferta de vagas do elemento ao qual ele estiver relacionado para o trecho de logradouro.

5.3.2.2 Determinação da oferta de vagas futura

A determinação da cobertura educacional futura é semelhante à da cobertura atual, exigindo apenas alguns passos extras. Ela pode ser realizada de duas maneiras, dependendo da unidade de análise à qual a oferta de vagas existente (atual) estiver vinculada. Se a oferta já estiver atribuída a *layer* que contém os trechos de

logradouro, basta que se preencha sua tabela no cruzamento do campo referente à oferta com a linha que se refere ao trecho no qual se pretende implantar o novo estabelecimento educacional, registrando o número de vagas que serão oferecidas.

Caso contrário, inicialmente deverá ser criado um novo elemento espacial na *layer* que contém os estabelecimentos de ensino e ser preenchida sua tabela no cruzamento do campo referente à oferta com a linha que se refere ao estabelecimento, registrando o número de vagas.

5.3.3 Sistema de espaços públicos abertos

O sistema de espaços públicos abertos é entendido neste trabalho como o conjunto dos seguintes elementos: sistema viário, praças, áreas verdes e outros espaços de domínio público contidos na estrutura urbana que possibilitam o fluxo humano (HILLIER et al., 1993; KRAFTA, 1994). Ele determina a viabilidade de implantação de um estabelecimento de ensino num dado local, já que algumas de suas características são determinantes sobre o desempenho do ambiente educacional e sobre a saúde e segurança dos usuários ao realizar o trajeto casa/escola.

Apesar de existirem alguns critérios mais utilizados na avaliação dos efeitos do espaço urbano sobre a localização de unidades escolares, ainda não existe um consenso sobre essa questão. Isso se deve em muito à própria natureza singular do espaço urbano, que assume diferentes comportamentos dependendo do seu processo de formação, das características geográficas do território, dos movimentos sociais, econômicos, políticos e culturais ocorridos sobre ele, dos costumes locais, entre outros fatores.

No item 3.2 - Fatores que afetam a relação dos estabelecimentos de ensino com o espaço urbano foram apresentados os critérios mais citados pela literatura, bastante limitada, sobre o assunto a que se teve acesso e a forma como eles interferem na localização de estabelecimentos de ensino. No entanto, reconhece-se que esse conjunto de critérios levantados não esgota todas as possibilidades de interferência do espaço sobre o local de implantação de estabelecimentos de ensino e que, dependendo da área analisada pelo modelo, alguns critérios citados podem não ter aplicabilidade ou relevância e outros não abordados podem se fazer necessários.

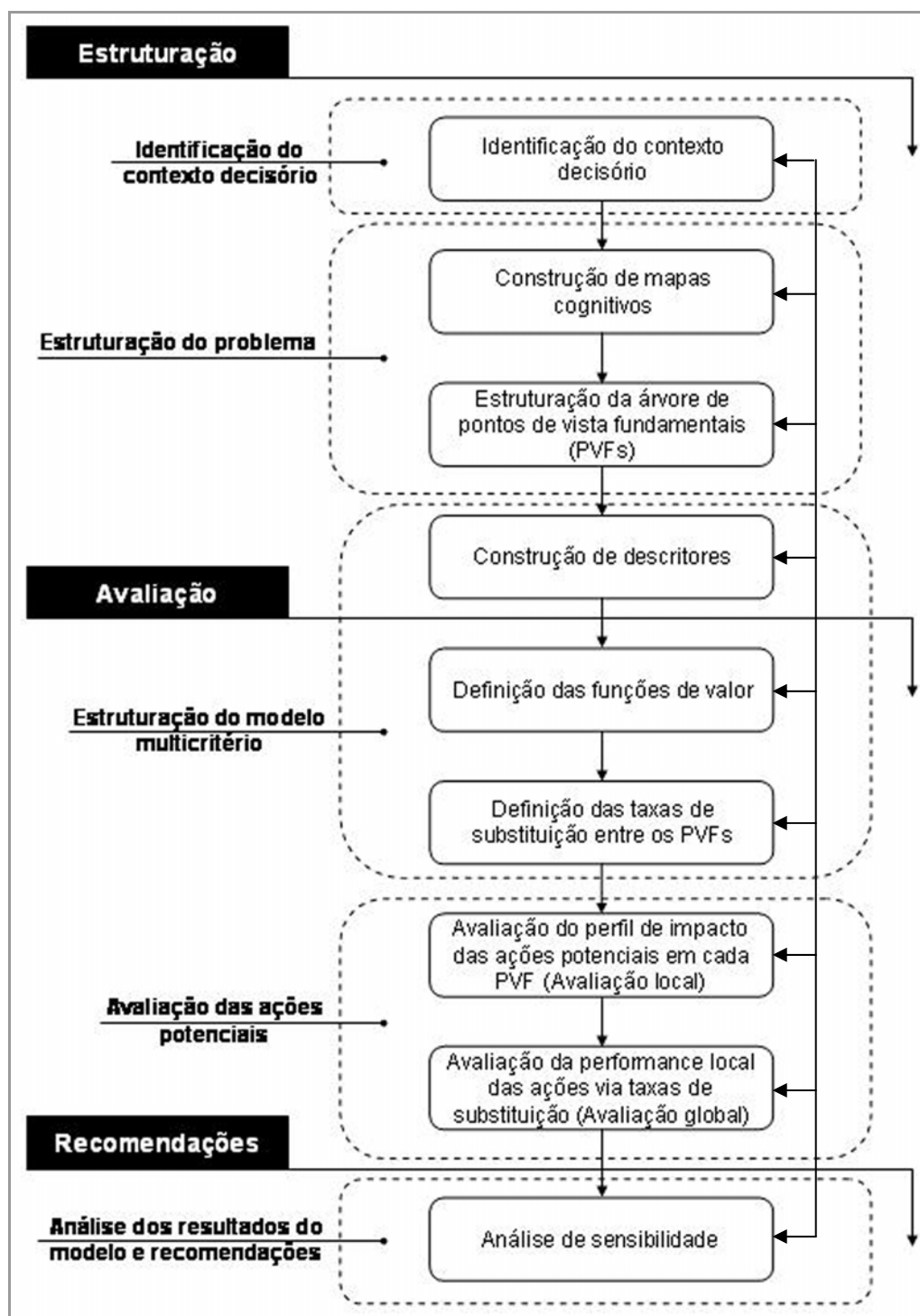
Entretanto, independentemente de quais sejam os elementos utilizados para avaliar o efeito do espaço urbano sobre a localização de estabelecimentos de ensino, o fato é que esses elementos geram o que se chamará aqui de *tensões* (KRAFTA, 1994). As tensões variam em intensidade de acordo com o estado dos elementos e da combinação existente entre eles.

A metodologia MCDA se constitui em uma ferramenta extremamente valiosa no caso do modelo que está sendo proposto neste trabalho, já que permitirá a ele reproduzir de que formas e com que intensidade o sistema de espaços públicos abertos influencia na localização de estabelecimentos de ensino em cada área, a partir do cálculo da tensão exercida por ele.

Ela será utilizada para determinar os critérios por meio dos quais os espaços públicos abertos serão analisados pelo modelo e a intensidade da tensão produzida pela incidência isolada ou combinada dos mesmos.

5.3.3.1 Aplicação da metodologia MCDA para a determinação da tensão existente nos espaços públicos abertos

O processo de apoio à decisão apresentado a seguir foi desenvolvido tomando como base a metodologia MCDA e é composto de três fases: estruturação, avaliação e recomendações. Ele é baseado no esquema proposto por Ensslin (2002), conforme mostra a figura 5.7. É importante salientar que o processo de apoio à decisão possui um caráter recursivo (representado pelas setas horizontais e pela barra vertical que interligam todas as etapas), permitindo que se possa retornar a etapas anteriores a partir de qualquer estágio do processo, sempre que se fizer necessário.



Fonte: ENSSLIN (2002), adaptado.

Figura 5.7 – Fases do processo de apoio à decisão segundo a metodologia MCDA.

■ Fase de estruturação

A estruturação tem a função principal de gerar e moldar o conhecimento do decisor sobre o problema de forma que, ao seu final, este se encontre sob o formato de um

modelo multicritério. A fase de estruturação compreende quatro etapas do processo de apoio à decisão mostrado na Figura 5.7 acima: identificação do contexto decisório, construção de mapas cognitivos, estruturação da árvore de pontos de vista fundamentais e construção de descritores.

Na etapa de **identificação do contexto decisório**, o primeiro passo é definir qual é o problema ou contexto decisório envolvido no processo de apoio à tomada de decisão. Para caracterizar a existência de um problema, 4 questões devem ser respondidas: Qual é a insatisfação que o gerou?, Quem é o dono do problema?, É um problema relevante (vale a pena resolver)?, É factível?.

A partir da caracterização do problema, pode-se analisar mais profundamente quem são seus donos, ou os atores do processo de decisão. O quadro 4.2 oferece uma listagem dos atores que podem participar do processo de apoio à decisão e uma descrição genérica da função de cada um. No caso particular deste trabalho, para que o processo obtenha uma maior legitimação, recomenda-se que entre os decisores estejam profissionais da educação e de planejamento urbano, educadores e membros da comunidade. Dessa maneira, garante-se que os diversos pontos de vista sobre a relação entre espaço urbano e estabelecimentos de ensino sejam incorporados e considerados no decorrer do processo, evitando que apenas a visão técnica embase a decisão, como costumeiramente acontece.

Escolhidos os atores, aquele(s) que ocupam o papel de decisor(es) deve(m) preocupar-se em selecionar as ações potenciais, que se referem às possíveis alternativas, candidatos ou objetos a serem explorados durante o processo decisório (VINCKE, 1992 apud ENSSLIN, MONTIBELLER NETO, NORONHA, 2001).

Os objetivos do decisor em relação ao conjunto de ações potenciais definem qual a problemática que melhor compreende o problema analisado. Uma problemática pode ser considerada como:

Um conjunto das questões fundamentais de um determinado contexto (contexto decisório no qual o problema está inserido). Estas questões fundamentais vêm por informar a postura de um indivíduo ao encontrar-se diante de uma situação que ele deseja entender, ou na qual deseja, de alguma forma, efetuar uma intervenção (DUTRA, 1988 apud ENSSLIN, 2002, p. 150).

A noção de problemática está associada, portanto, a postura que qualquer indivíduo assume diante de uma situação, objetivando sua compreensão, ou seu estudo, ou mesmo sua intervenção. Ela diz respeito às questões fundamentais que se fazem presentes dentro de um determinado ou delimitado contexto sob estudo, para um determinado sistema de atores, na procura do reconhecimento, esclarecimento e tratamento "racional-sistêmico" de uma dada situação, a qual demanda algum tipo de ação ou ações, bem como exige a definição explícita dos papéis de cada um dos envolvidos no processo (ZANELLA, 1996).

As problemáticas são importantes porque influenciam no processo de estruturação do modelo multicritério (ENSSLIN, MONTIBELLER NETO, NORONHA, 2001). Três tipos de problemáticas¹⁵ podem estar envolvidas no processo decisório: a problemática da decisão; a problemática de apoio à decisão; e a problemática de avaliação, que se subdivide em descrição, avaliação e rejeição absoluta. As duas primeiras ocorrem na fase de estruturação e a última na fase de avaliação.

Com o enquadramento nas problemáticas pertinentes, o processo de estruturação passa para a etapa seguinte de **construção dos mapas cognitivos**, que visa a estruturação do problema. Os mapas cognitivos ou de relações meios-fins são representações gráficas do discurso de um indivíduo sobre um determinado assunto (COSSETTE; AUDET, 1992 apud NORONHA, 2003). Segundo Montibeller Neto (2000), o mapa cognitivo é uma representação cognitiva quádrupla defasada no tempo das representações mentais do decisor sobre o contexto decisório.

O objetivo do mapa cognitivo é explicitar os valores do decisor com relação ao problema, permitindo-lhe apreender e aprimorar sua percepção e interpretação do contexto decisório. Logo, não é função do mapa cognitivo representar precisamente o pensamento do decisor, e sim permitir ao decisor compreender melhor o seu contexto decisório, a partir da representação gráfica das relações de influência estabelecidas entre os diversos aspectos apontados por ele (NORONHA, 2003).

¹⁵ Os trabalhos de Roy (1996) e Zanella (1996) apresentam um estudo mais aprofundado sobre problemáticas.

A construção de um mapa cognitivo é composta das seguintes etapas¹⁶ (ENSSLIN, MONTIBELLER NETO, NORONHA, 2001):

1. **Definição de um rótulo para o problema:** o rótulo é uma frase não muito extensa, ou um título, que tem o objetivo de delimitar o contexto decisório de maneira que durante a construção do mapa seja mantido o foco nos aspectos mais relevantes;

2. **Definição dos Elementos Primários de Avaliação (EPAs):** os EPAs são os aspectos considerados pelo decisor como relevantes para tomar sua decisão. Eles podem ser objetivos, metas, valores dos decisores, ações, opções e alternativas. Os EPAs podem ser coletados a partir de um *brainstorming*, onde o decisor deve citar a maior quantidade possível de EPAs que lhe vier à mente. A elaboração da lista de EPAs termina quando o facilitador identificar repetição de conceitos por parte do decisor ou quando julgar ter levantado um número suficiente dos mesmos;

3. **Construção de conceitos a partir dos EPAs:** consiste em orientar os EPAs à ação, adicionando a eles um verbo no infinitivo. Um conceito é composto por dois pólos: o pólo presente que define a ação desejada pelo decisor; e o pólo oposto¹⁷, que identifica a condição mínima em relação àquela ação aceita pelo decisor. Os pólos são ligados pelo símbolo ‘...’ (lido como “ao invés de”);

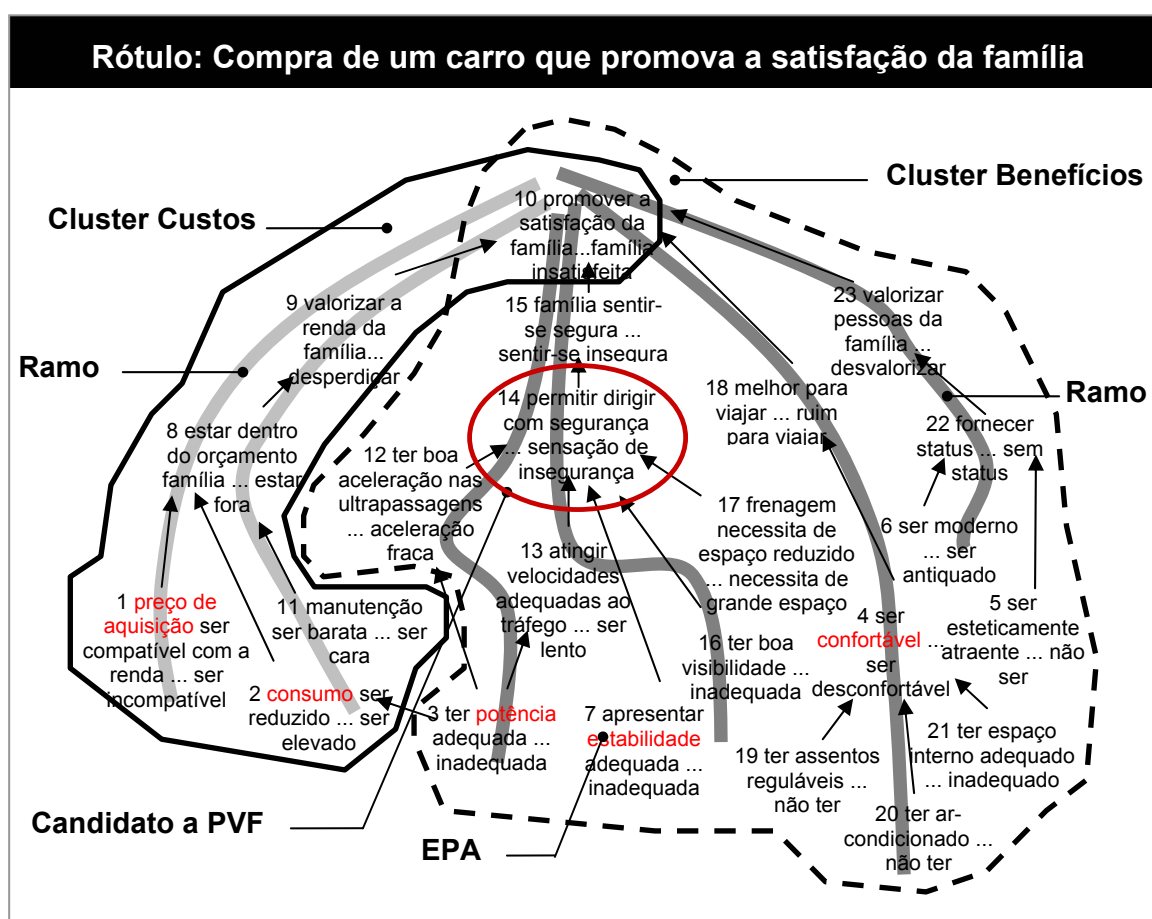
4. **Construção da hierarquia de conceitos:** consiste em relacionar os conceitos entre si através de ligações de influência (simbolizadas por setas). Partindo de um conceito qualquer, o facilitador deve perguntar ao decisor: **Por que** este conceito é importante para você? E **Como** você poderia obter tal

¹⁶ A construção de mapas cognitivos de grupos apresenta algumas etapas extras, que não serão abordadas neste trabalho. Uma descrição mais detalhada sobre o assunto pode ser encontrada em ENSSLIN, MONTIBELLER NETO, NORONHA (2001).

¹⁷ É interessante esclarecer que o oposto referido aqui não é o oposto lógico, mas sim o oposto psicológico. O oposto lógico é considerado pelo decisor como o oposto natural do pólo presente e o oposto psicológico exprime o seu nível de tolerância com relação a determinada ação considerando especificamente o contexto da decisão.

conceito?. Quando um conceito responde à primeira pergunta ele é dito um **conceito fim** e quando responde a segunda pergunta diz-se que ele é um **conceito meio**. Normalmente, os conceitos meios se localizam na parte inferior do mapa e os conceitos fim na parte superior. Quanto mais superior for a localização de um conceito no mapa, mais estratégico ele será.

Para facilitar a compreensão do leitor sobre os elementos descritos no processo de construção de um mapa cognitivo apresentado acima será utilizado o exemplo da compra de um carro (ENSSLIN, MONTIBELLER NETO, NORONHA, 2001), conforme mostra a figura 5.8.



Fonte: ENSSLIN, MONTIBELLER NETO, NORONHA (2001). Adaptado.

Figura 5.8 – Principais componentes de um mapa cognitivo.

Alguns aspectos que refletem a importância do mapa cognitivo para o processo de apoio à decisão merecem ser ressaltados: a) sua característica reflexiva permite ao decisor aprender sobre o contexto que está sendo trabalhado; b) o mapa constitui uma ferramenta de negociação que auxilia os decisores a negociar e interpretar

melhor o contexto decisório; e c) ele salienta a diferença existente entre o discurso do decisor e o que “está na sua cabeça” (ENSSLIN, MONTIBELLER NETO, NORONHA, 2001).

Depois de absorvida pelos decisores, a informação contida no mapa de relações meios-fins deve ser adaptada à estrutura dos modelos multicritérios, requerendo para tanto um processo de transição que transforma o fluxo de idéias contido no mapa em uma estrutura arborescente. Para facilitar esta etapa, devem ser identificados no mapa os conjuntos de conceitos inter-relacionados que explicam preocupações comuns, conhecidos como *clusters* (Figura 5.8). Por sua vez, os *clusters* são compostos por seqüências de conceitos relacionados por ligações de influência que tratam de assuntos similares, denominados ramos (Figura 5.8), a partir dos quais se inicia o processo de transição.

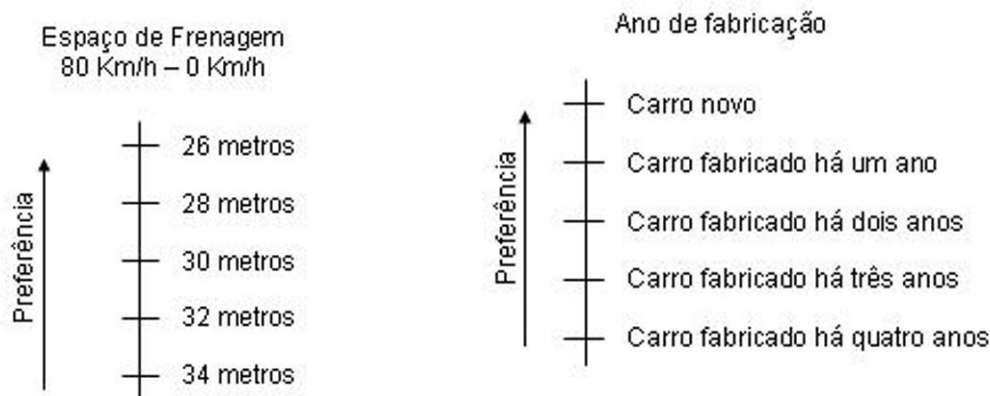
O processo de transição visa à **determinação dos pontos de vista fundamentais (PVFs)**, que são conceitos essenciais e controláveis em relação ao contexto abordado no mapa, capazes de exprimir por si só a preocupação que os ramos do mapa cognitivo representam. Esses conceitos são definidos por Ensslin, Montibeller Neto, Noronha (2001, p. 127) como:

Aqueles aspectos considerados, por pelo menos um dos decisores, como fundamentais para avaliar as ações potenciais. Eles explicitam os valores que os decisores consideram importantes naquele contexto e, ao mesmo tempo, definem as características (propriedades) das ações que são de interesse dos decisores.

Para cada ramo deve ser identificado um candidato a PVF (Figura 5.8). Candidato, porque para se tornar um PVF há ainda alguns testes a serem realizados. Depois de construída a estrutura arborescente, formada pelo conjunto de candidatos a PVF, resta testar o comportamento dos candidatos em relação a uma série de propriedades que caracterizam um PVF. Ele deve ser: essencial, controlável, completo, mensurável, operacional, isolável, não-redundante, conciso e compreensível.

Atendidas essas exigências, a estruturação da família de PVFs está completa e pode-se passar para a estruturação do modelo multicritério. O primeiro passo é atribuir um significado e tornar inteligível os PVFs através da **construção de descritores**. Bana e Costa (1992 apud Ensslin, Montibeller Neto, Noronha, 2001)

definem um descritor como um critério composto por níveis de impacto capazes de descrever todas as performances possíveis de cada ação (Figura 5.9). Os níveis de impacto devem estar ordenados por ordem de preferência, obedecendo aos sistemas de valores dos decisores, sendo que o nível mais atrativo deve corresponder à melhor performance possível e o nível menos atrativo deve corresponder à pior performance aceitável da ação para os decisores.



(a) Descritor direto quantitativo contínuo

(b) Descritor direto quantitativo discreto

Fonte: ENSSLIN, MONTIBELLER NETO, NORONHA (2001). Adaptado.

Figura 5.9 – Exemplos de descritores.

Conforme o paradigma construtivista adotado pela metodologia MCDA, não existe um descritor “ótimo” para avaliar um PVF. Os descritores são considerados adequados quando capazes de (ENSSLIN, MONTIBELLER NETO, NORONHA, 2001, p 146):

1. Auxiliar na compreensão do que os decisores estão considerando;
2. Tornar o ponto de vista mais inteligível;
3. Permitir a geração de ações de aperfeiçoamento;
4. Possibilitar a construção de escalas de preferência locais;
5. Permitir a mensuração do desempenho de ações em um critério;
6. Auxiliar a construção de um modelo global de avaliação.

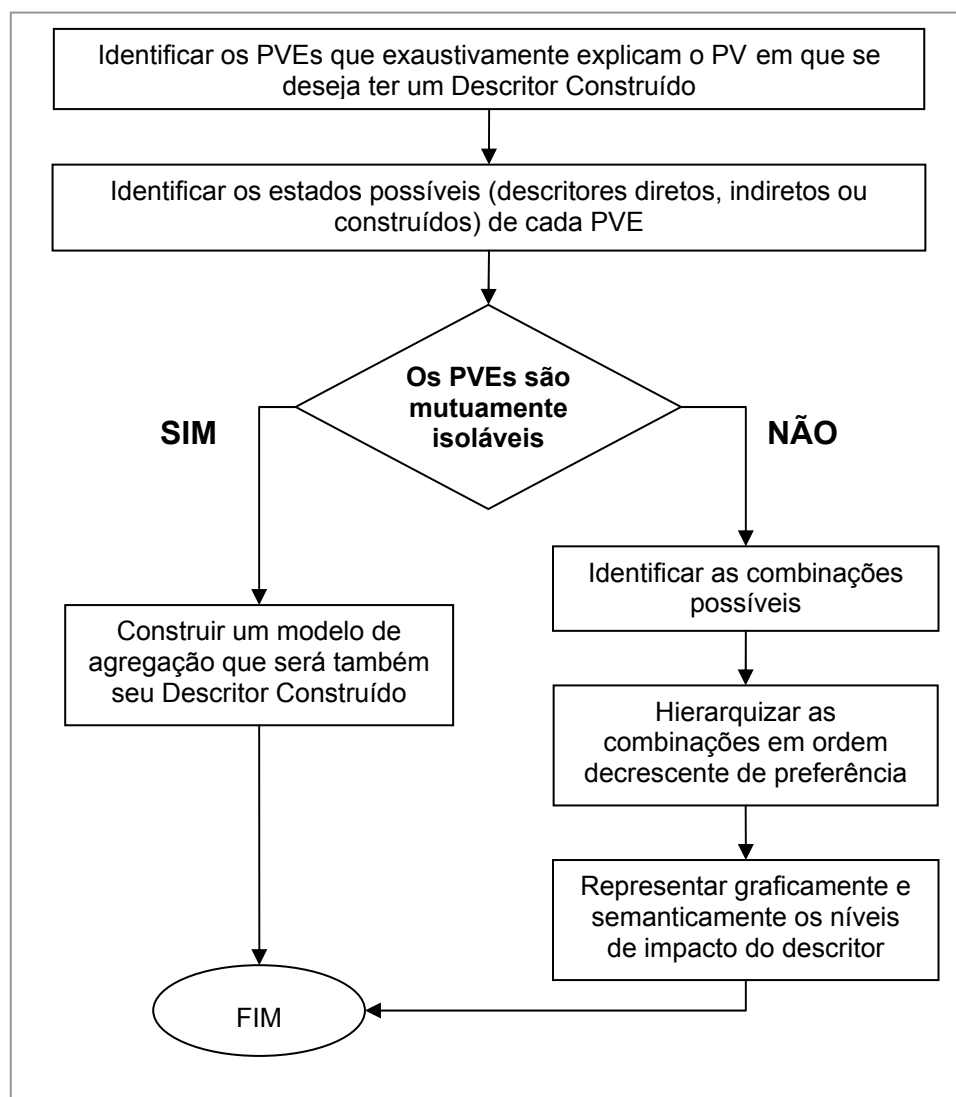
De acordo com a forma de construção, os descritores podem ser classificados em (Keeney, 1992 apud Ensslin, Montibeller Neto, Noronha, 2001): diretos, construídos e indiretos (*proxy*). Podem ainda ser classificados segundo a natureza e a relação

entre os níveis de impacto em: quantitativos e qualitativos, e contínuos e discretos, respectivamente (ENSSLIN, MONTIBELLER NETO, NORONHA, 2001).

Os descritores diretos são aqueles que possuem uma medida numérica intrínseca e de fácil entendimento pelos decisores. Eles podem ser quantitativos contínuos ou quantitativos discretos. Quando não houver condições de se construir um descritor direto é necessário elaborar um descritor construído, obtido a partir da decomposição do PVF em pontos de vista elementares (PVEs), visando a diminuir sua complexidade e permitir uma melhor avaliação da performance das ações potenciais. A necessidade de se decompor um ponto de vista ocorre geralmente quando ele apresenta as seguintes características (ENSSLIN, MONTIBELLER NETO, NORONHA, 2001):

1. Expressa uma preocupação que não pode ser mensurada diretamente, pois diversos aspectos explicam aquele PV, exigindo um conjunto de descritores;
2. Reflete uma preocupação de caráter qualitativo, que não pode ser traduzida por um descritor direto, trazendo a necessidade de se decompor o PVF em PVEs de mensuração mais fácil ;
3. Deseja-se uma avaliação mais detalhada do PV com o objetivo de se determinar pontos de controle e melhoria no sistema.

Uma forma de construir os PVEs é perguntar aos decisores: Que aspectos permitem avaliar este PVF? Outra maneira é observar no mapa de relações meios-fins os conceitos-meios do conceito que deu origem ao PVF (ENSSLIN, MONTIBELLER NETO, NORONHA, 2001). A figura a seguir (Figura 5.10) apresenta o processo para a construção de um descritor construído.



Fonte: ENSSLIN, MONTIBELLER NETO, NORONHA (2001). Adaptado.

Figura 5.10 – Fluxograma para gerar descritores construídos.

Se os PVEs não forem isoláveis, ou seja, precisarem ser levados em conta simultaneamente para que o decisor tome sua decisão, é necessário construir um único descritor para estes PVEs. Para isso, inicialmente são determinadas todas as combinações dos estados dos PVEs consideradas possíveis pelo decisor. Em seguida, as combinações são ordenadas fazendo-se uma comparação par-a-par das alternativas, utilizando-se uma matriz de ordenação.

Por exemplo, se uma dada combinação A for preferível a uma outra combinação C, então deve-se preencher a matriz com o número 1 na linha A e 0 na coluna C. Se a preferência for por C, deve-se preencher a matriz com o número 1 na linha C e 0 na coluna A. E se a combinação A for indiferente a combinação C, deve-se preencher

com o número 0 tanto a linha A quanto a coluna C. Depois de completo o preenchimento, a matriz pode ser reescrita com as combinações ordenadas¹⁸.

Caso os PVEs sejam isoláveis, isto é, o decisor não precise considerá-los simultaneamente para que possa tomar sua decisão, é necessário apenas construir um descritor único para cada um dos PVEs que permita avaliar o impacto das ações potenciais naquele PVE, independentemente da performance das ações nos outros PVEs. Para cada PVE deverá ser construído o tipo de descritor mais apropriado, podendo se fazer necessária novamente a elaboração de um descritor construído, agora para o subPVE, de acordo com o procedimento anterior.

O último tipo de descritores são os indiretos ou *proxy*, que basicamente só diferem dos descritores diretos pelo fato de medirem indiretamente a performance das ações em um PVF. Um exemplo de descritor quantitativo indireto é a medição da distância entre dois pontos pelo tempo de deslocamento entre eles (ENSSLIN, MONTIBELLER NETO, NORONHA, 2001).

Independente do tipo, recomenda-se que o número de níveis de impacto de um descritor seja em torno de cinco. No caso dos descritores quantitativos é aconselhável que os intervalos entre os níveis de impacto sejam constantes entre si. Além disso, os descritores, assim como os PVFs, também devem possuir algumas propriedades, a saber: mensurabilidade, operacionalidade e compreensibilidade (ENSSLIN, MONTIBELLER NETO, NORONHA, 2001).

Depois dos descritores construídos, é necessário definir para cada um dois níveis de impacto de referência: o nível de impacto Bom e o nível de impacto Neutro. Eles conferem uma maior inteligibilidade ao descritor, delimitando o intervalo de impactos considerados competitivos para o decisor. Dessa forma, fica mais claro identificar as ações atrativas (acima do nível Neutro) e as não atrativas (abaixo do nível Neutro), as ações com performance comprometedora (abaixo do nível Neutro), como também

¹⁸ Depois da matriz ordenada é necessário se verificar se existe o fenômeno de intransitividade, que acontece quando entre os números 1 de uma linha for encontrado um número 0. Para maiores detalhes, ver ROBERTS, F. S. Measurement Theory. In: ROTA, G. C. (Ed.) Encyclopedia of Mathematics and its Applications, v. 7 London: Addison-Wesley Publishing Company, 1979.

as ações com performance competitiva (entre os níveis Bom e Neutro) e aquelas com performance em nível de excelência (acima do nível Bom).

Ao final da construção dos descritores, a família de PVFs que deu origem ao processo geralmente possuirá um formato diferente, em função da inclusão de PVEs e, algumas vezes, até de subPVEs. Essa nova estrutura arborescente é chamada de árvore da família de pontos de vista. Cabe lembrar que o processo de construção da árvore de pontos de vista e de definição dos descritores é recursivo e pode ser alterado se o decisor não se mostrar satisfeito com o seu resultado.

■ *Fase de avaliação*

Nesta fase, trabalha-se basicamente com números, destinados a alimentar o modelo multicritério para que possa ser realizada a mensuração de desempenho das ações potenciais.

Continuando a estruturação do modelo multicritério, deve-se ordenar e definir a intensidade de preferência entre pares de níveis de impacto de cada descritor, através da **construção das funções de valor**. Estas são elementos matemáticos que quantificam a performance de ações nos critérios, identificando e diferenciando o desempenho de ações como percebidas pelo decisor (ENSSLIN, MONTIBELLER NETO, NORONHA, 2001). Segundo Ensslin et al. (2000 apud Petri, 2000, p.137), as funções de valor são:

[...] representações matemáticas de julgamentos humanos. Elas procuram oferecer uma descrição analítica dos sistemas de valores dos indivíduos envolvidos no processo decisório e objetivando representar numericamente os componentes de julgamento humano envolvido na avaliação de ações. Uma função de valor procura transformar as performances das ações em valores numéricos que representam o grau em que um objetivo é alcançado relativamente a níveis balizadores (Beinat, 1995). Ou ainda representa numericamente o grau de atratividade de cada nível de impacto em determinado ponto de vista fundamental, em relação a uma escala ancorada em níveis prefixados.

Matematicamente uma função de valor $v: D \rightarrow \Re$ deve obedecer a três condições, que devem ser observadas entre todos os pares de ações potenciais (BEINAT, 1995 apud ENSSLIN, MONTIBELLER NETO, NORONHA, 2001, p. 189):

Sejam quatro ações potenciais a, b, c, d pertencentes ao conjunto A de ações viáveis:

1. $v(a) > v(b)$ se e somente se, para o decisor, a é mais atrativa que b (a P b);
2. $v(a) = v(b)$ se e somente se, para o avaliador, a é indiferente a b (a I b);
3. $v(a) - v(b) > v(c) - v(d)$ se e somente se, para o avaliador, a diferença de atratividade entre a e b é maior que a diferença de atratividade entre c e d.

Dentre os principais métodos para construção de funções de valor estão: Método da Pontuação Direta (*Direct Rating*), Método da Bissecção e Método do Julgamento Semântico. Este último é considerado melhor embasado cientificamente e possui uma de suas variações, o método MACBETH¹⁹. (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique), implementada em *software*.

O MACBETH foi desenvolvido por Bana e Costa e Vansnick (1995 apud Ensslin, Montibeller Neto, Noronha, 2001) e utiliza programação linear para determinar uma função de valor que melhor represente os julgamentos dos decisores. O procedimento utilizado pelo método consiste em questionar os decisores para que estes expressem verbalmente a diferença de atratividade percebida entre duas ações potenciais a e b (sendo a mais atrativa que b) em termos de 7 categorias semânticas, mostradas abaixo:

- C 0 - **Nenhuma** diferença de atratividade (indiferença)
- C 1 - Diferença de atratividade **muito fraca**
- C 2 - Diferença de atratividade **fraca**
- C 3 - Diferença de atratividade **moderada**
- C 4 - Diferença de atratividade **forte**
- C 5 - Diferença de atratividade **muito forte**
- C 6 - Diferença de atratividade **extrema**

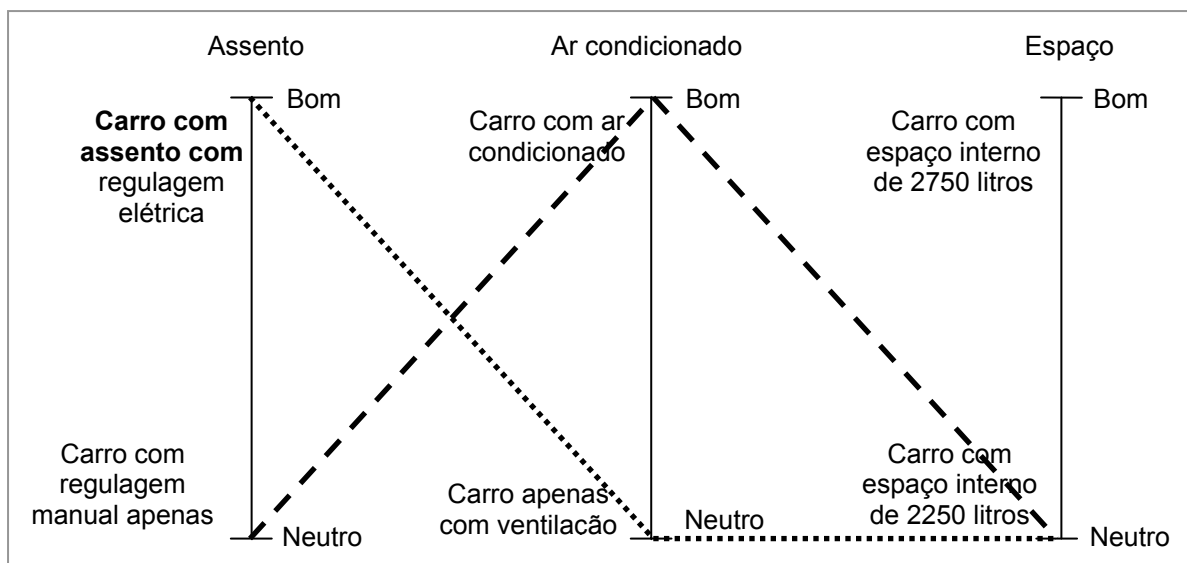
Com base nas respostas do decisor para todos os pares de ações, constrói-se uma matriz semântica à qual é proposta uma escala numérica que satisfaça (se possível)

¹⁹ O método MACBETH, juntamente com os dois primeiros métodos, pode ser visto com maiores detalhes em ENSSLIN, MONTIBELLER NETO, NORONHA (2001).

as três condições a que uma função de valor deve obedecer, apresentadas anteriormente (ENSSLIN, MONTIBELLER NETO, NORONHA, 2001).

Construídas as funções de valor, os descritores estão prontos para avaliar a performance das ações potenciais, apenas localmente, já que a diferença de atratividade entre seus níveis de impacto não possui relação com a diferença de atratividade dos demais. Para estender a avaliação a um estágio global, deve-se proceder à **definição das taxas de substituição**, que expressarão o quanto cada critério contribui para a performance de uma ação em relação ao modelo como um todo. Segundo Ensslin, Montibeller Neto, Noronha (2001, p. 218), “as taxas de substituição são constantes de escala que transformam valores locais de preferência (avaliados em cada critério) em valores globais”. Elas expressam a perda de desempenho sofrida por um critério para compensar o ganho em outro (ROY, 1996).

Dentre os métodos citados por Ensslin, Montibeller Neto, Noronha (2001) estão: método *Trade-Off*, *Swing Weights* e Comparação par-a-par. Este último é um dos métodos melhor embasados cientificamente para determinar as taxas de substituição e se encontra hoje implementado no mesmo *software* (MACBETH) empregado na construção das funções de valor. O procedimento utilizado pelo *software* para determinar as taxas de substituição é bastante semelhante àquele empregado na obtenção das funções de valor. Ele consiste em comparar par-a-par ações fictícias com performances distintas em somente dois critérios, e com desempenho idêntico nos demais. A diferença de performance nos dois critérios é obtida atribuindo-se a uma das ações o nível de impacto Bom em um dos critérios e o nível de impacto Neutro no outro critério. A outra ação deverá apresentar o nível de impacto Neutro no critério em que a primeira ação apresentar nível de impacto Bom e nível de impacto Bom no critério em que a primeira ação apresentar nível de impacto Neutro (Figura 5.11).



Fonte: ENSSLIN, MONTIBELLER NETO, NORONHA (2001). Adaptado.
 Figura 5.11 – Método da comparação par-a-par.

Num primeiro momento, a comparação par-a-par visa a ordenar preferencialmente os critérios, tarefa que pode ser realizada com o uso de uma matriz de ordenação, como a que foi utilizada no processo de construção das funções de valor. Numa segunda etapa, o mesmo processo utilizado para hierarquizar os critérios é novamente empregado para determinar a intensidade de preferência entre pares de ações fictícias, a partir de julgamento semântico (usando as mesmas sete classes apresentadas anteriormente).

Com isso, passa-se à avaliação das ações potenciais. Como neste ponto o modelo multicritério de avaliação já é capaz de realizar uma **avaliação do perfil de impacto das ações potenciais** e testar alternativas de melhorias, basta que seja identificado o desempenho de cada ação potencial em cada um dos critérios e sub-critérios do modelo. Nessa etapa é recomendada a utilização de ferramentas que auxiliem os decisores a avaliar localmente as ações potenciais do modelo, como por exemplo planilhas de cálculo eletrônicas ou software específicos²⁰. Depois de feita a avaliação local das ações potenciais, pode-se utilizar as informações dessa etapa para comparar ações potenciais e determinar seus pontos fortes e fracos, utilizando, por

²⁰ Dentre os softwares mais utilizados para avaliar o desempenho de ações em modelos multicritério de apoio à decisão estão o HIVIEW (Barclay, 1984 apud ENSSLIN, MONTIBELLER NETO,

exemplo, um gráfico que contenha no seu eixo horizontal os critérios de avaliação e no eixo vertical a pontuação (desempenho) das ações.

Quando apenas a avaliação local não for suficiente para apoiar a decisão, os decisores podem agregar as avaliações locais das ações potenciais em uma única **avaliação global**, através de uma fórmula de agregação aditiva, como mostra a equação a seguir:

$$V(a) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot v_i(a) \quad (5.12)$$

Onde:

$V(a)$ = valor global da ação a ;

$v_i(a)$ = valor parcial da ação a nos critérios 1 a n ;

w_i = taxas de substituição dos critérios 1 a n ;

n = número de critérios.

É válido ressaltar que o modelo multicritério deve atender a dois requisitos principais para um bom desempenho: possuir termos de fácil compreensão pelos técnicos que o utilizarão; possuir critérios desprovidos de ambigüidade.

■ *Fase de recomendações*

Terminada a fase de avaliação, finalmente deve ser realizada uma análise dos resultados do modelo e recomendações. É necessário proceder a uma **análise de sensibilidade** no modelo para atestar sua robustez frente a pequenas alterações em seus parâmetros. O procedimento utilizado na análise de sensibilidade é bastante simples e consiste em alterar os valores dos parâmetros e observar a repercussão dessa mudança no resultado final da avaliação das alternativas. Como as taxas de substituição são um dos parâmetros que mais influenciam o resultado final da avaliação, é recomendado que o modelo se mantenha estável a variações nas taxas de até 10%.

NORONHA, 2001) e o VISA (Belton e Vickers, 1990 apud ENSSLIN, MONTIBELLER NETO, NORONHA, 2001).

A análise pode se dar em termos numéricos ou em termos gráficos. No primeiro caso, utiliza-se a equação a seguir (Equação 5.13) para calcular as novas taxas de substituição do modelo em função da modificação de uma delas.

$$w_n' = \frac{w_n \cdot (1 - w_i')}{(1 - w_i)} \quad (5.13)$$

Onde:

w_i = taxa de substituição original do critério i;

w_i' = taxa de substituição modificada do critério i;

w_n = taxa de substituição original do critério n;

w_n' = taxa de substituição recalculada do critério n;

Devido ao grande número de cálculos envolvidos na análise numérica, algumas vezes pode ser recomendada a utilização de programas gráficos, como os *softwares* HIVIEW e VISA. Nesse caso, o procedimento consiste em traçar retas que representem a avaliação global das ações potenciais em função da variação da taxa de substituição de um dos critérios do modelo, como mostra a figura a seguir (Figura 5.12) (TAVARES et al., 1996 apud ENSSLIN, MONTIBELLER NETO, NORONHA, 2001).

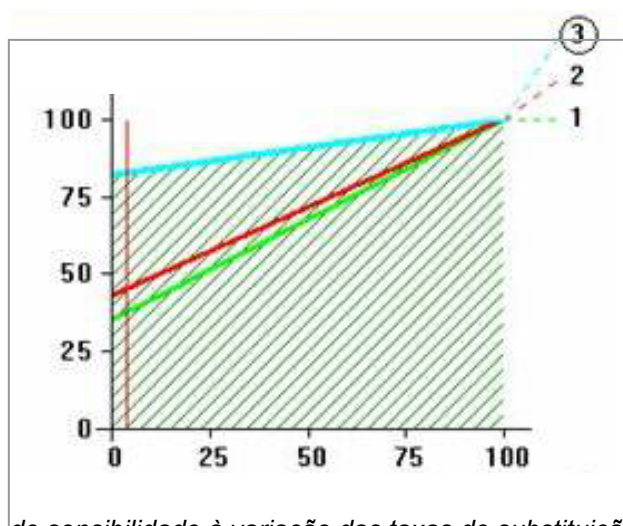


Figura 5.12 – Análise de sensibilidade à variação das taxas de substituição – software HIVIEW.

A análise de sensibilidade proporciona a oportunidade de gerar ações de aperfeiçoamento, podendo aprimorar as ações potenciais e dar maior robustez ao processo decisório (ENSSLIN, MONTIBELLER NETO, NORONHA, 2001).

5.4 Determinação da forma de representação das variáveis

Nossa interpretação da realidade é baseada nas imagens mentais que esquematizamos com base nas relações espaciais que percebemos daquilo que observamos, chamadas de abstrações. Pode-se dizer que as abstrações são recursos utilizados para identificar, descrever e manipular os aspectos fundamentais de uma realidade, ou seja, representá-los, quando se deseja reduzir sua complexidade para melhor compreendê-la (NYERGES, 1991).

No caso da estruturação do modelo proposto neste trabalho é necessário realizar abstrações que sejam capazes de captar os aspectos mais importantes da estrutura urbana, considerados essenciais para lidar com o problema da localização de estabelecimentos de ensino. O grau dessa abstração é que definirá a forma através da qual serão representadas as variáveis do modelo.

Na Figura 5.13 estão ilustradas quatro alternativas de representação de um sistema urbano, baseadas em diferentes níveis de abstração: a) Aerofoto; b) Restituição Aerofotogramétrica; c) Trechos de logradouros; e d) Grafos. A forma de representação mais adequada para um dado sistema depende do propósito da aplicação na qual ele será inserido.



Fonte: SABOYA (2001).

Figura 5.13 – Diferentes formas de representação do sistema urbano: a) Aerofoto; b) Restituição Aerofotogramétrica; c) Trechos de logradouro; d) Grafos.

No caso do modelo aqui proposto, o sistema urbano será representado por três variáveis fundamentais: sistema de espaços públicos abertos, cobertura educacional e demanda educacional.

O **sistema de espaços públicos abertos** será representado no modelo proposto pelos **trechos de logradouro** que compõem a estrutura urbana. Um trecho de logradouro é formado pelas porções dos eixos de logradouros localizadas entre duas interseções, ou entre uma interseção e uma extremidade do eixo, como mostra a figura acima (Figura 5.13 (c)).

A **demanda educacional** não é um elemento fixo na estrutura, ela se constitui em fluxos de pessoas que se deslocam por entre seus espaços. Por este motivo, essa variável será representada espacialmente no modelo pelos **trechos de logradouro**, sendo descrita em termos numéricos como um atributo da variável sistema de espaços públicos abertos (Figura 5.14).

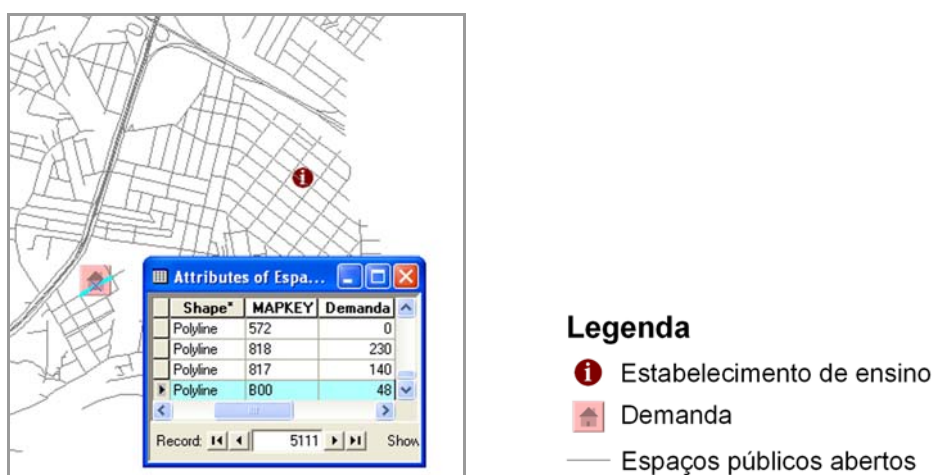


Figura 5.14 – Representação espacial da demanda no modelo.

Os **estabelecimentos de ensino** poderiam ser representados no modelo como edificações, entretanto essa forma de representação colocaria a necessidade do modelo realizar uma operação a mais para transferir as informações contidas na edificação para a unidade de análise, o trecho de logradouro (Figura 5.15).

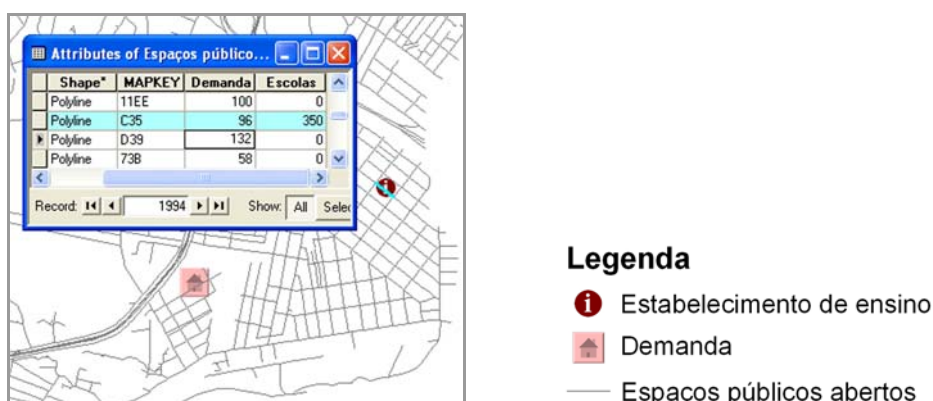


Figura 5.15 – Representação espacial dos estabelecimentos de ensino no modelo.

Logo, da mesma forma que para a demanda, os estabelecimentos de ensino possuirão uma representação espacial no modelo através dos **trechos de logradouro**, sendo descrita em termos numéricos como um atributo da variável sistema de espaços públicos abertos. Contudo, os estabelecimentos de ensino podem ser representados por edificações no SIG em uma outra layer que, apesar de não ser utilizada pelo modelo, pode oferecer uma descrição espacial mais próxima da realidade, facilitando a compreensão do usuário (Figura 5.15).

5.5 Determinação das relações entre as variáveis

As relações entre as três variáveis do modelo podem ser resumidas a permeabilidade, conectividade e alcançabilidade (KRAFTA, 1994). A **permeabilidade** é caracterizada pela possibilidade de transição de um espaço para outro e ocorre entre demanda e espaços públicos e cobertura e espaços públicos. Logo, toda a demanda que se encontrar alocada a um determinado espaço público é dita permeável a ele, o mesmo vale para a cobertura. A **conectividade** expressa a existência de comunicação entre os espaços públicos e as seqüências de espaços que permitem essa ligação. E a **alcançabilidade** representa a possibilidade de, a partir de um determinado espaço, se chegar a outro espaço não adjacente a ele. Ela ocorre entre a demanda e a cobertura educacionais. Dessa forma, quando a demanda alocada a um determinado espaço consegue ter acesso ao atendimento de um estabelecimento de ensino localizado em outro espaço não diretamente conectado a ele diz-se que existe alcançabilidade e vice-versa. Essas relações serão representadas no modelo através de um grafo (Figura 5.16).

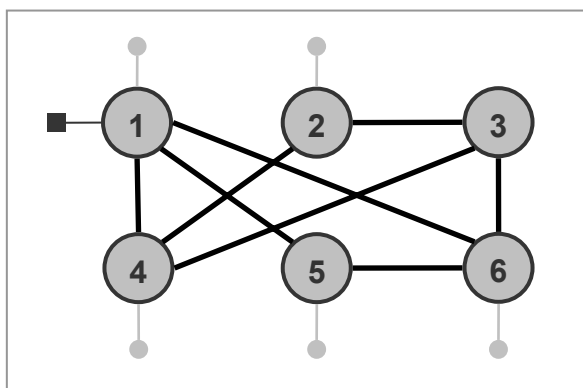


Figura 5.16 – Grafo dos espaços públicos, demanda e estabelecimentos de ensino.

No grafo acima, os espaços públicos estão representados pelos círculos maiores, a demanda pelos círculos menores e os estabelecimentos de ensino pelos quadrados; as relações de permeabilidade pelas linhas mais finas e as relações de conectividade pelas linhas mais grossas. Assim, uma demanda com permeabilidade para o espaço 2 pode alcançar um estabelecimento de ensino no espaço 1 (e portanto não adjacente) através do espaço 4.

5.6 Definição do tratamento conferido à variável tempo

O sistema representado no modelo proposto possui um caráter dinâmico, movido principalmente por alterações ocorridas sobre a demanda e a cobertura educacionais. Como dito no item 2.2.2 - Fatores que afetam a demanda educacional, a demanda é influenciada por uma série de fatores, cuja ação isolada ou combinada afeta as taxas de crescimento populacional, a composição etária da população, sua distribuição e concentração ao longo da estrutura urbana. Já a cobertura educacional é modificada ao longo do tempo principalmente pelas políticas e metas definidas nos planos educacionais, que determinam a expansão das redes de estabelecimentos de ensino.

Dessa forma, o fator tempo será incorporado no modelo proposto a partir da substituição dos dados atuais sobre demanda e cobertura educacionais por dados referentes a um horizonte de tempo futuro. Os dados futuros sobre a demanda são aqueles calculados através das estimativas populacionais para um determinado ano. E os dados sobre a cobertura se referem à localização e capacidade de atendimento das novas unidades escolares que se pretende implantar até o mesmo ano utilizado no cálculo das estimativas.

O sistema de espaços públicos abertos exerce uma influência menos significativa sobre o comportamento futuro do sistema representado no modelo pelo fato de seus elementos possuírem uma natureza mais duradoura, menos mutável, mais estática, cuja transformação natural geralmente se estende por longos períodos de tempo. Esses períodos extrapolam em muito os intervalos de tempo utilizados no planejamento educacional. No entanto, alguns desses elementos, como é o caso do sistema viário, da infra-estrutura básica, das atividades, etc., podem sofrer alterações decorrentes da intervenção humana que causam modificações sobre o sistema modelado.

Por isso, essas alterações também serão incorporadas pelo modelo através da inserção de projetos que envolvam qualquer um dos elementos urbanos selecionados pela metodologia MCDA para avaliar o sistema de espaços públicos abertos. Esses projetos podem ser referentes à criação, fechamento ou mudança no traçado de vias, implantação de infra-estrutura, mudanças ocorridas na acessibilidade em decorrência de alterações no sistema viário e de transportes, etc.

Acredita-se que, com isso, o modelo terá condições de reproduzir a dinamicidade presente no sistema urbano. Os efeitos do fator tempo sobre as variáveis do sistema analisado poderão ser captados e simulados pelo modelo, que nessa circunstância passa a funcionar como uma ferramenta de predição capaz de oferecer indicações das conseqüências que projetos empreendidos sobre a estrutura urbana podem causar sobre a rede de estabelecimentos de ensino.

6 Proposta conceitual de um modelo de localização de estabelecimentos de ensino

6.1 Caracterização do modelo

Em relação à natureza de seus componentes, este é um modelo conceitual porque utiliza a linguagem escrita e operações matemáticas para representar o problema da localização de estabelecimentos de ensino. Considerando o seu comportamento em relação à variável tempo o modelo é dinâmico porque é capaz de incorporar os efeitos da variável tempo sobre o sistema urbano nele representado.

Considerando a finalidade, o modelo pode ser descritivo, exploratório e preditivo. Sua finalidade será descritiva quando, a partir de dados sobre a situação atual do sistema, determinar o comportamento do fenômeno locacional do sistema em função das características e das relações estabelecidas entre demanda educacional, cobertura educacional e sistema de espaços públicos abertos. O modelo se tornará exploratório quando, a partir de alterações sistemáticas nos dados sobre a situação atual do sistema, reproduzir os reflexos que essas alterações em uma ou várias

variáveis geram sobre o comportamento do sistema. E finalmente, será preditivo quando a partir de dados sobre o estado futuro do sistema, reproduzir as transformações sofridas por seus elementos ao longo do tempo, prevendo assim o comportamento que o sistema assumirá.

Com relação ao tipo de abordagem utilizada para reproduzir o comportamento do sistema urbano, o modelo é configuracional porque descreve a estrutura espacial urbana por meio de categorias predominantemente espaciais, fornecendo uma discriminação granular da localização das atividades no sistema urbano.

6.2 Propósito do modelo

O propósito do modelo é simular o desempenho de cada espaço público aberto do sistema urbano como se ele abrigasse um estabelecimento de ensino. O comportamento dos espaços é analisado em termos do raio de abrangência que os estabelecimentos localizados neles possuiriam. Cada raio de abrangência é avaliado considerando a clientela que ele teoricamente recrutaria e a tensão que os elementos e fenômenos urbanos integrantes dos espaços públicos que os compõem causariam sobre o deslocamento dessa clientela.

Com isso, o modelo se torna capaz de identificar os espaços mais prioritários para receber um estabelecimento de ensino, considerando o fato de que no entorno desses espaços existe demanda pelo serviço ao mesmo tempo em que eles possuem potencial para abrigar um estabelecimento de ensino. O potencial se refere à compatibilidade existente entre os elementos e fenômenos urbanos que ocorrem em cada espaço e as características que o ambiente educacional deve possuir.

6.3 Fundamentos do modelo

1. As características dos espaços públicos urbanos são determinantes sobre a localização de estabelecimentos de ensino

A abordagem utilizada pelos modelos tradicionais empregados no trato da questão locacional normalmente está relacionada com a otimização do funcionamento do sistema urbano através da maximização da sua utilidade e da minimização de custos. Para tanto, a formulação básica desses modelos adota como variáveis, além

da demanda e da oferta de um determinado serviço, a distância e o custo associado ao deslocamento (que pode ser medido em termos de tempo e dinheiro). São utilizados conceitos de equilíbrio e racionalidade para apoiar a escolha da melhor localização, que quase sempre é aquela a partir da qual a distância e os custos do deslocamento até os pontos de demanda sejam minimizados (ECHENIQUE, 1972; BERTUGLIA et al., 1987; ALMEIDA, 1999).

Nota-se que nesses modelos não existe uma preocupação explícita com os efeitos provocados pelos elementos constituintes do espaço urbano sobre os deslocamentos na busca de um determinado serviço. No entanto, para este trabalho, esse é um ponto considerado essencial na determinação do melhor local para a implantação de um estabelecimento educacional.

Para o modelo de localização aqui proposto, além da demanda e da cobertura educacionais, variáveis presentes na maioria dos modelos aplicados a questão locacional, os espaços públicos também desempenham um papel determinante sobre a localização de equipamentos e serviços, como é o caso dos estabelecimentos de ensino. Os espaços apresentam comportamentos diferenciados em relação aos efeitos que causam sobre o deslocamento humano, tendo em vista a heterogeneidade das características de conectividade do traçado e dos elementos fixados ao longo dele. Nesse sentido, eles são vistos pelo modelo de um ponto de vista mais abrangente, que considera os diversos elementos e fenômenos urbanos neles presentes para definir o seu papel.

Dessa forma, a distância e os custos associados aos deslocamentos se constituem em apenas um dos vários fatores relacionados ao sistema de espaços públicos urbanos que causam impactos sobre a localização de equipamentos e serviços na estrutura urbana, assumindo um peso proporcional à sua participação na produção desses impactos. Junto com eles, o sistema viário, a rede de infra-estrutura básica, as condições ambientais, as atividades, as barreiras fisiográficas, a legislação urbanística, entre outros elementos, condicionam o comportamento dos espaços urbanos em relação à localização de estabelecimentos de ensino.

2. Os elementos e fenômenos presentes nos espaços urbanos geram tensões sobre o deslocamento humano

Baseando-se no modelo configuracional de Centralidade Urbana desenvolvido por Krafta (1994), o modelo de localização proposto neste trabalho assume que os elementos constituintes dos espaços públicos urbanos e os fenômenos associados à eles geram nesses espaços o que Krafta chamou de *tensões*. A partir de algumas adaptações à definição original apresentada no modelo de Centralidade, as tensões aqui representam o comportamento dos espaços públicos em relação à resistência sofrida pelo deslocamento humano quando em busca de algum serviço. Assim, alguns espaços apresentam um maior potencial para abrigar uma unidade de ensino que outros, em consequência do menor desgaste imposto pelos caminhos que integram seu raio de abrangência ao deslocamento da sua clientela potencial.

Em resumo, um espaço pode ser considerado de alto potencial para abrigar uma unidade de ensino se o seu raio de abrangência for capaz de realizar de forma mais intensa que o raio de abrangência de outros espaços os seguintes papéis:

1. Ser um pólo gerador de demanda educacional que será irradiada em direção ao seu centro, onde se encontra o estabelecimento de ensino;
2. Ser um pólo gerador de tensões de baixa intensidade, isto é, em um nível que provoque os menores impactos possíveis ao deslocamento da clientela quando esta estiver se dirigindo ao estabelecimento de ensino;
3. Não fazer parte da área de atendimento ou raio de abrangência de um outro estabelecimento de ensino.

O modelo parte do princípio de que a demanda educacional busca os estabelecimentos de ensino mais próximos através do sistema de espaços públicos abertos. Para isso, ela percorre o caminho, cuja extensão máxima deve ser igual ou inferior ao raio de abrangência do estabelecimento, que impuser a menor resistência ao deslocamento, ou seja, que apresentar a menor concentração de tensões.

3. A natureza e intensidade das tensões variam de acordo com as particularidades de cada área

A natureza e intensidade dessas tensões são determinadas para cada aplicação do modelo levando em conta as particularidades da área estudada. As particularidades são captadas a partir do julgamento de valor de indivíduos que conhecem, sob diversos pontos de vista, as implicações das tensões existentes nos espaços urbanos sobre a questão da localização de estabelecimentos de ensino e que possuem algum poder de decisão sobre a questão.

Conseqüentemente, as melhores localizações para a implantação de um estabelecimento de ensino serão aqueles espaços que tiverem a propriedade de apresentar no seu raio de abrangência: uma alta concentração de demanda e; espaços com características favoráveis a realização do trajeto casa/escola determinadas de acordo com a intuição e experiência das pessoas que possuem poder de decisão sobre a localização de estabelecimentos de ensino. Ao mesmo tempo eles também devem estar livres de sobreposições com o raio de abrangência de outros estabelecimentos de ensino, principalmente daqueles que não apresentam problemas com o entorno.

4. Os deslocamentos da clientela são limitados a uma distância máxima

Diferentemente dos modelos tradicionais, o modelo de localização proposto considera válidos somente os fluxos gerados pelos deslocamentos da demanda que não excedam uma distância máxima, dada pelo raio de abrangência dos estabelecimentos de ensino. Essa distância corresponde ao ponto a partir do qual a realização do percurso casa/escola a pé começa a provocar efeitos não toleráveis sobre a mobilidade e a resistência física dos usuários.

Na maior parte dos modelos de localização tradicionais, os fluxos são admitidos entre todos os pares de origem e destino do sistema, não havendo restrições quanto a distância a ser percorrida pelos usuários de determinado serviço. No caso do serviço educacional, essa liberdade de realizar longos deslocamentos implica na produção de resultados que, implicitamente, assumem que os usuários terão à sua disposição algum tipo de transporte veicular para se deslocarem até a escola. Entretanto, conforme já discutido anteriormente, a maior parte da demanda

educacional brasileira é atendida pela rede pública de educação, pelo fato de que na maioria das vezes o valor da renda não é suficiente para arcar com gastos em educação, inclusive com o transporte à escola.

6.4 Hipóteses adotadas pelo modelo

Pelo fato de um modelo se constituir em uma abstração que simplifica a realidade em um nível de detalhamento que permita o seu entendimento, algumas hipóteses que orientem essa simplificação precisam ser formuladas.

O modelo de localização que está sendo proposto neste trabalho exige a adoção das seguintes hipóteses para que os fundamentos apresentados no item acima possam ser aplicados e para que o seu propósito tenha validade:

1. Os usuários da rede de estabelecimentos de ensino realizam o trajeto casa/escola a pé. Essa premissa é importante pois exerce influência direta sobre a extensão dos deslocamentos que podem ser realizados sem causar prejuízos à clientela educacional. Sua função principal é garantir que os resultados oferecidos pelo modelo possam ser estendidos à maior parte da clientela educacional brasileira, que não possui condições financeiras de ter acesso a alguma forma de transporte motorizado;
2. A demanda educacional se dirige à escola mais próxima através do menor caminho. Essa afirmação é necessária para que o modelo seja capaz de identificar a qual estabelecimento, dentre todos os que compõem a rede educacional da área de estudo, ele deve atribuir a demanda existente no sistema, partindo-se do princípio de que não existem dados reais disponíveis sobre qual estabelecimento é freqüentado por cada indivíduo que compõe a clientela educacional. Essa hipótese permite que o modelo selecione, dentre as inúmeras possibilidades oferecidas pelo sistema de espaços públicos abertos, o(s) caminho(s) utilizado(s) no trajeto casa/escola realizado para levar a demanda até o estabelecimento de ensino;
3. Os estabelecimentos de ensino atendem à clientela localizada mais próxima a eles. Semelhantemente à hipótese 2, essa suposição é necessária para que o modelo seja capaz de identificar a distribuição espacial da oferta de vagas

oferecida pela rede de estabelecimentos de ensino existente, partindo-se do princípio de que não existem dados reais sobre qual estabelecimento é freqüentado por cada indivíduo que compõe a clientela educacional disponível. Ela também permite que o modelo selecione, dentre as inúmeras possibilidades oferecidas pelo sistema de espaços públicos abertos, o(s) caminho(s) utilizado(s) no trajeto casa/escola realizado para levar a oferta até sua clientela;

4. O caminho percorrido pela demanda para alcançar um estabelecimento de ensino não pode ultrapassar uma distância máxima. Esse argumento garante que o modelo incorporará e respeitará as limitações impostas pela hipótese 1 à mobilidade e à resistência física da clientela na realização dos deslocamentos casa/escola ao longo do sistema de espaços públicos abertos;
5. Os estabelecimentos de ensino possuem um raio de abrangência que limita a distribuição do seu atendimento. Essa hipótese é complementar às hipóteses 1 e 4. Ela complementa o argumento apresentado pela hipótese 1, estabelecendo uma área ou extensão de cobertura territorial para cada estabelecimento de ensino compatível com a realização do trajeto casa/escola a pé. E complementa a hipótese 4, definindo essa mesma extensão que a cobertura territorial de cada estabelecimento de ensino pode ter de forma que as limitações mencionadas naquela hipótese sejam respeitadas;

6.5 Variáveis do modelo

O modelo parte do princípio que o problema da localização de estabelecimentos de ensino na estrutura urbana pode ser representado por três variáveis: a demanda educacional, os estabelecimentos de ensino e o sistema de espaços públicos abertos.

A demanda representa as pessoas em idade escolar que residem ao longo dos espaços públicos abertos e que buscam por um estabelecimento de ensino. Os estabelecimentos de ensino representam o número de vagas que a rede escolar oferece. As pessoas que continuam sem atendimento depois que as vagas da rede escolar são subtraídas da demanda potencial compõem a chamada demanda excedente. Além das pessoas sem atendimento, a demanda excedente é composta

pelas pessoas que, apesar de terem acesso a algum estabelecimento de ensino, têm o trajeto casa/escola prejudicado pelas condições impróprias do entorno. A demanda excedente é utilizada pelo modelo na determinação dos locais que requerem a instalação de novos estabelecimentos de ensino.

O sistema de espaços públicos abertos representa as ruas, praças, parques, áreas verdes e outros espaços que possibilitam os fluxos humanos ao longo da estrutura urbana. Logo, é através dele que a clientela educacional se desloca em direção aos estabelecimentos de ensino.

Nesse sistema, os espaços públicos armazenam *tensões* criadas em função dos elementos e fenômenos urbanos ocorridos neles, que causam perturbações ao deslocamento da clientela educacional. A intensidade dessas tensões varia de acordo com o tipo de elemento ou fenômeno, com o comportamento que cada um apresenta e com a combinação formada por eles. Por exemplo, um espaço pode fazer parte de uma avenida com alta acessibilidade, com altos níveis de poluição sonora e atmosférica que possui atividades comerciais alocadas a ela, e pela qual passam várias linhas de transporte coletivo. Esse espaço certamente acumula uma alta tensão que causaria uma resistência significativa ao deslocamento de uma criança que precise transpô-lo para chegar até a escola que frequenta.

6.6 Descrição do algoritmo de operacionalização do modelo

O primeiro passo consiste na **alimentação do modelo** com os dados referentes a demanda, número de vagas escolares e tensão que cada espaço possui a partir de operações de consulta e recuperação realizadas sobre as tabelas do SIG.

O segundo passo está relacionado com a **determinação das relações espaciais do sistema**. Para isso, o conjunto dos trechos de logradouro que no modelo representam o sistema de espaços públicos abertos é convertido em um grafo, a partir do qual são calculadas as matrizes de conectividade, profundidade e distância. A matriz de conectividade (C) identifica a quais espaços do sistema um dado espaço está diretamente conectado, como ilustra o grafo da figura 6.1 (b). Nele, o espaço representado pelo número 1 está diretamente conectado (linhas vermelhas) aos espaços 4, 5 e 6. A existência de conexão é representada pelo número 1 e a

ausência pelo número 0. Logo após, é determinada a matriz de profundidade (P) do sistema, que indica a quantos passos topológicos cada espaço se encontra dos demais espaços do sistema, como exemplifica a figura 6.1 (c). Na figura, o espaço 1 está a uma profundidade média igual a 1 dos espaços 4, 5 e 6 (em cinza), e a uma profundidade média igual a 2 dos espaços 2 e 3 (em preto). Com isso, são determinados todos os menores caminhos possíveis entre todos os pares de espaços do sistema. E finalmente, é determinada a matriz de distâncias (D) que informa a distância métrica existente entre todos os pares de espaços do sistema.

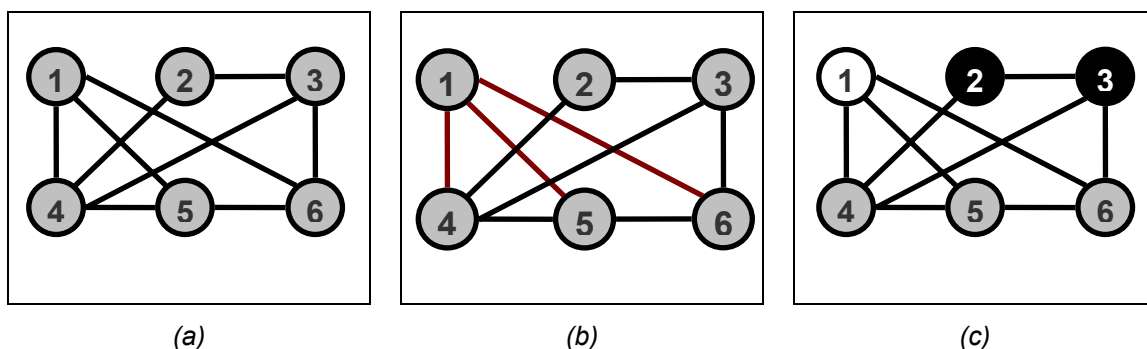


Figura 6.1 – Determinação das relações espaciais do sistema.

O terceiro passo consiste na **determinação da cobertura da rede de estabelecimentos de ensino existente**, identificando o raio de abrangência dos espaços I que possuem estabelecimentos de ensino alocados a eles. Para isso, inicialmente deve ser determinado o valor do raio de abrangência (RA) adotado para a análise. Em seguida, a oferta de vagas existente em cada espaço I deve ser distribuída aos espaços m mais próximos dele, até que a oferta se esgote ou que a distância entre os espaços I e m exceda o raio de abrangência de I, como mostra a figura 6.2. Para cada espaço m deve ser registrado o(s) n espaço(s) I que lhe oferece(m) atendimento. Entretanto, para efeito do cálculo da medida de potencial, no caso de um espaço m fazer parte do raio de abrangência de mais de um espaço I, o modelo considerará que somente o espaço I mais próximo atende o espaço m.

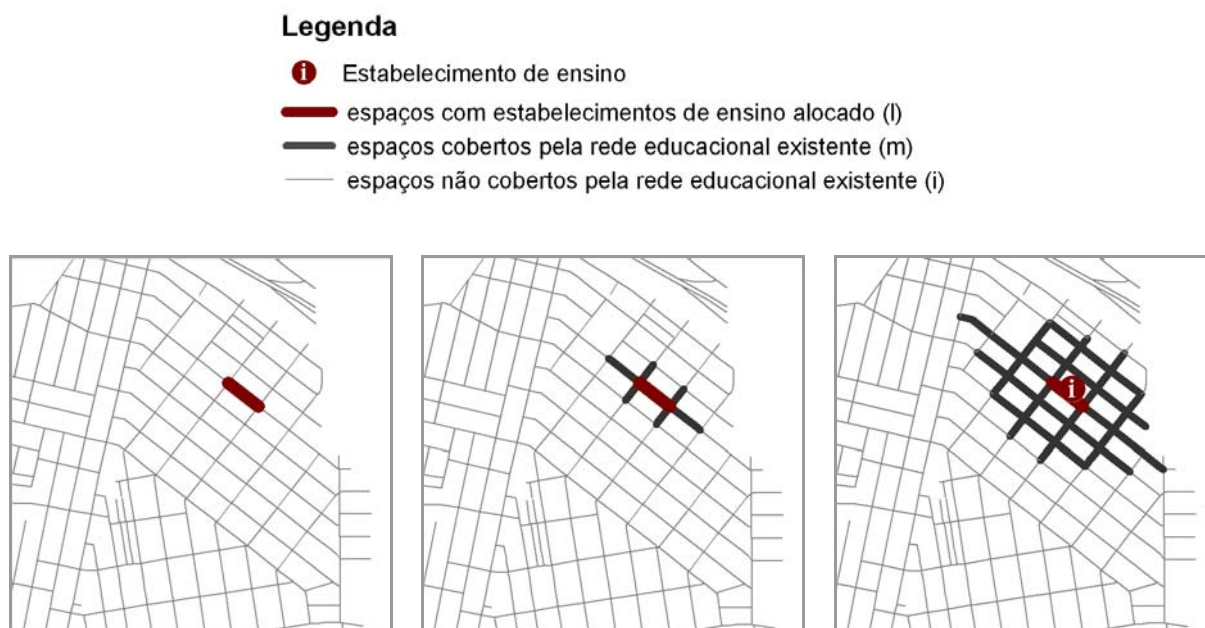


Figura 6.2 - Determinação da cobertura da rede de estabelecimentos de ensino existente.

O quarto passo consiste na **determinação da tensão existente entre os espaços onde existem estabelecimentos de ensino alocados e os espaços atendidos por eles**. De acordo com a figura 6.3, a tensão é obtida pela soma da tensão do espaço l, que possui um estabelecimento de ensino, com a tensão do espaço m, atendido por ele, e com a tensão dos espaços k, que integram o menor caminho entre eles, como mostra a equação:

$$t_{ml} = p_l + p_m + \sum p_k \quad (6.1)$$

O valor de tensão obtido para cada par de espaços (l, m) também deve ser utilizado para reduzir o número de menores caminhos entre pares de espaços determinados no segundo passo, excluindo aqueles que, apesar de apresentarem um mesmo número de passos topológicos, geram uma maior tensão (Figura 6.3 (c) e (d)).

Valores altos de tensão indicam a existência de elementos e/ou fatores ao longo do caminho entre l e m que prejudicam ou que não são adequados ao trajeto casa-escola. Já valores baixos de tensão indicam um trajeto casa-escola livre ou sujeito a poucos elementos e/ou fatores prejudiciais.

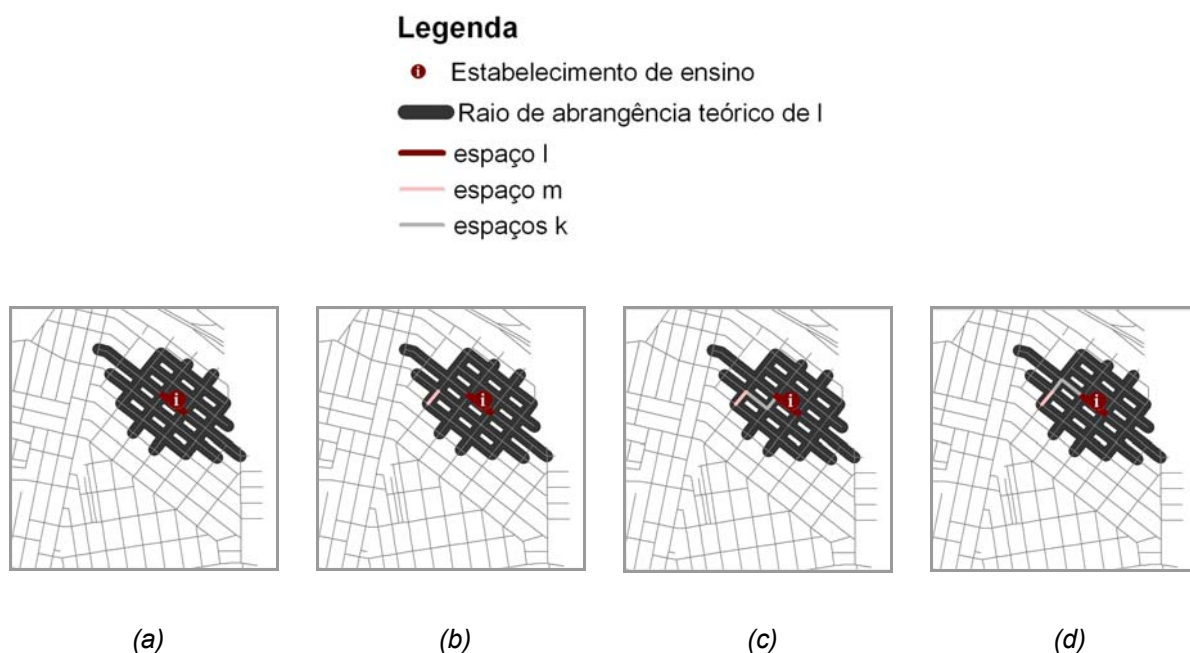


Figura 6.3 - Determinação da tensão existente entre os espaços.

O quinto passo diz respeito à **determinação do raio de abrangência teórico de todos os espaços**. Tomando o valor de RA definido no terceiro passo, para cada espaço j , sendo simulado como se abrigasse um estabelecimento de ensino, devem ser identificados e listados todos os espaços i do sistema, que não são atendidos por nenhum estabelecimento de ensino e, os espaços m , atendidos pela rede escolar, que se encontram a uma distância dele inferior ou igual ao raio de abrangência estipulado. A figura 6.4, mostra dois momentos da determinação do raio de abrangência dos espaços: um, inicial, no qual foram identificados apenas os espaços situados a até dois passos topológicos; e outro, final, onde todos os espaços do raio de abrangência já foram identificados.

Legenda

- ❶ Estabelecimento de ensino
- ▬ Raio de abrangência teórico de i
- ▬ Espaço j sendo simulado como se abrigasse um estabelecimento de ensino
- ▬ Raio de abrangência teórico de j (espaços i não atendidos pela rede escolar existente)
- ▬ Espaços atendidos por estabelecimentos de ensino (m) contidos no raio de abrangência de j

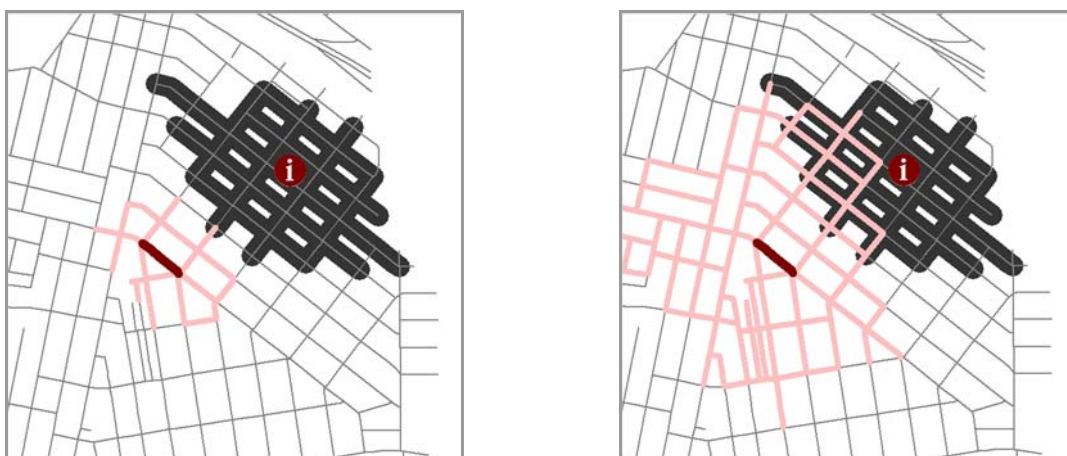


Figura 6.4 - Determinação do raio de abrangência teórico dos espaços.

O sexto passo é semelhante ao quarto passo e diz respeito à **determinação da tensão existente entre pares de espaços** pertencentes aos raios de abrangência de cada espaço. Para os espaços i, a tensão entre i e j é dada pela soma da tensão do espaço j com a tensão do espaço i e com a tensão dos espaços k que integram o menor caminho entre eles, como mostra a equação 6.2. E semelhantemente para os espaços m, a tensão entre m e j é dada pela soma da tensão do espaço j com a tensão do espaço m e com a tensão dos espaços k que integram o menor caminho entre eles, como mostra a equação 6.3:

$$t_{ij} = p_i + p_j + \sum p_k \quad (6.2)$$

$$t_{mj} = p_m + p_j + \sum p_k \quad (6.3)$$

Como no passo quatro, o valor de tensão obtido para cada par de espaços (j,i) e (j,m) deve ser utilizado para reduzir o número de menores caminhos entre pares de espaços determinados no segundo passo, excluindo os caminhos que, apesar de apresentarem um mesmo número de passos topológicos, geram uma maior tensão.

O sétimo passo consiste na **normalização das tensões** t_{ml} , t_{ij} e t_{mj} para que elas passem a variar dentro do intervalo compreendido entre os valores 0 e 1. Com isso, obtém-se uma escala de medidas clara que fornece uma leitura mais direta de quais tensões são altas e quais são baixas para o sistema em estudo.

O oitavo passo consiste na **determinação da demanda e da cobertura educacionais excedentes** do sistema (Figura 6.5). A demanda educacional excedente pode ser de duas naturezas. A primeira, se caracteriza pela demanda, localizada em espaços m teoricamente atendidos por um estabelecimento de ensino localizado em um espaço l , que está sujeita a uma determinada tensão provocada pelo deslocamento entre m e l , conforme a equação 6.4.

$$de_m = d_m \cdot t_{ml} \quad (6.4)$$

Quando o valor da tensão t_{ml} for igual a 0 significa que a localização do estabelecimento de ensino que atende o espaço m não está prejudicando o trajeto casa/escola dos usuários, logo a demanda excedente também será igual a 0. Por outro lado, se a tensão t_{ml} atingir seu valor máximo, que é igual a 1, significa que a localização do estabelecimento de ensino que atende o espaço m está prejudicando fortemente o trajeto casa/escola dos usuários. Portanto, a demanda excedente nesse caso será igual ao próprio valor da demanda.

A de_m tem a função de informar ao modelo os estabelecimentos de ensino cuja localização esteja “penalizando” o trajeto casa-escola dos seus usuários e que precisam receber algum tipo de ação corretiva. Dessa forma, a de_m indica a demanda que apesar de ter acesso a um estabelecimento de ensino não é atendida adequadamente por ele. Portanto, ela pode ser considerada pelo modelo como demanda a ser atendida por um novo estabelecimento instalado num espaço j próximo (espaços representados pela sobreposição das cores cinza e rosa na figura 6.5).

O segundo tipo de demanda excedente diz respeito à demanda existente no sistema que teoricamente não tem acesso a nenhum estabelecimento de ensino. Ela ocorre nos espaços i (linhas rosa na figura 6.5) que não são atendidos por nenhum estabelecimento de ensino e é igual ao total da própria demanda que ele contém:

$$de_i = d_i \quad (6.5)$$

Já a oferta excedente é determinada diminuindo a oferta dos espaços I da demanda dos espaços m , contidos no seu raio de abrangência, conforme aponta a equação:

$$oe_i = o_i - \sum d_m \quad (6.6)$$

Dessa forma, caso a oferta em I tenha sido superior à demanda do seu RA, o número de vagas excedentes ficará registrado no espaço I .

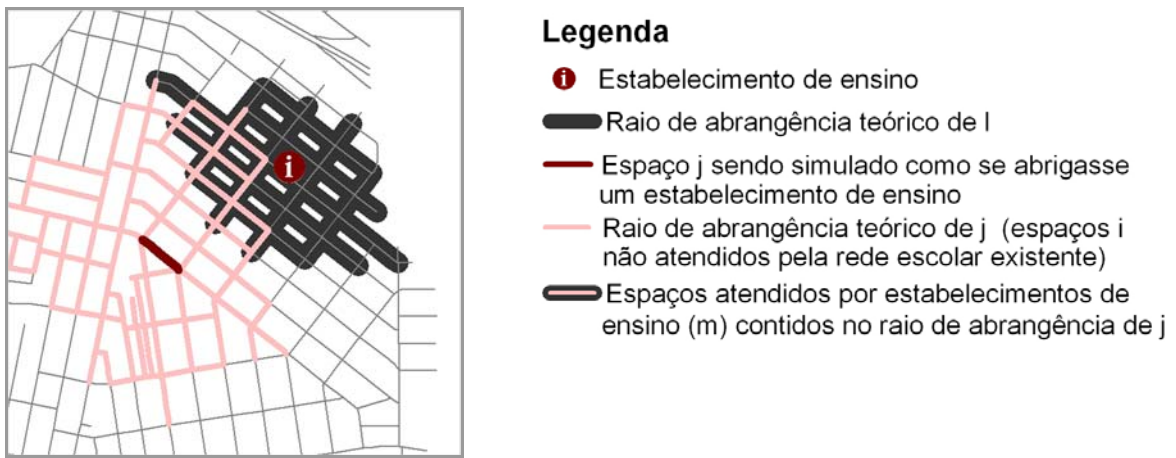


Figura 6.5 – Determinação da demanda educacional excedente.

Finalmente, o nono passo está relacionado à **determinação do potencial dos espaços para abrigar um estabelecimento de ensino**. Isso é feito tomando-se todos os espaços i e espaços m contidos no RA de cada espaço j e multiplicando-se a demanda educacional excedente alocada a esses espaços pela tensão existente entre eles e j . O somatório dos produtos das demandas pela tensão de todos os espaços que compõem o raio de abrangência do espaço j diminuída de 1 indicará o seu potencial para abrigar um estabelecimento de ensino, conforme:

$$p_j = \sum [de_i (1 - t_{ij})] + \sum [de_m (1 - t_{mj})] \quad (6.7)$$

6.7 A medida de potencial

Como resultado da seqüência de operações descritas acima, o modelo de localização fornece o potencial P_j de cada espaço do sistema para abrigar um estabelecimento de ensino. A medida de potencial indica em que grau um dado espaço público do sistema urbano é capaz de ao mesmo tempo concentrar a maior quantidade de demanda no seu entorno (definido pelo raio de abrangência) e ter esse entorno livre de elementos e fenômenos urbanos que provoquem resistência ao deslocamento da referida demanda.

Utilizando essa propriedade, o modelo procura estabelecer uma medida de diferenciação espacial entre os espaços que integram o sistema urbano. Essa diferenciação implica na adequabilidade e na inadequabilidade desses espaços para abrigarem unidades de ensino, de acordo com a tensão que exercem sobre o deslocamento da demanda.

Dessa forma, a medida oferece uma hierarquização dos espaços que compõem o sistema urbano, a partir da qual é possível estabelecer uma escala de prioridade para a implantação de estabelecimentos de ensino.

6.8 Interpretação dos resultados

Algumas das análises sobre os resultados do modelo são realizadas com base nos valores da medida de potencial. Valores de potencial altos podem indicar: a) que no entorno dos espaços existe uma alta procura pelo serviço; b) que no entorno dos espaços ocorrem elementos e fenômenos urbanos que interagem de forma harmoniosa com o ambiente educacional provocando baixos níveis de tensão sobre o deslocamento da demanda que ali se localiza ou; c) que no entorno dos espaços ocorrem simultaneamente as situações descritas em a) e b).

Já valores de potencial baixos podem indicar as seguintes situações: a) que no entorno daquele espaço existe pouca demanda pelo serviço educacional; b) que no entorno daquele espaço ocorrem muitos elementos e fenômenos urbanos que estabelecem uma relação conflituosa com o ambiente educacional provocando o surgimento de níveis de tensão elevados sobre o deslocamento da demanda que ali

se localizaria ou; c) que no entorno daquele espaço ocorrem simultaneamente as situações descritas em a) e b).

Podem também ocorrer situações intermediárias às que foram apresentadas acima para os espaços que abrigam estabelecimentos de ensino, das quais resultarão os valores médios da medida de potencial.

Os resultados oferecidos pelo modelo permitem que sejam tiradas conclusões tanto sobre a adequabilidade dos espaços onde estão localizados estabelecimentos de ensino como sobre o potencial dos demais espaços para virem a abrigar um novo estabelecimento. Também podem ser analisadas a cobertura territorial da rede de ensino e as áreas desprovidas de clientela educacional ou sem condições para abrigar um estabelecimento de ensino.

6.8.1 Adequabilidade dos espaços onde se localizam estabelecimentos de ensino

Com relação a adequabilidade dos espaços onde já se localizam estabelecimentos de ensino, quanto menor o valor da medida de potencial P , mais adequada a localização do estabelecimento.

Assim, pode-se dizer que estabelecimentos de ensino localizados em espaços com valores de potencial baixos provavelmente estejam atendendo adequadamente a clientela situada no raio de abrangência tanto em termos quantitativos quanto em termos qualitativos. O primeiro aspecto, de natureza quantitativa, se refere à cobertura educacional oferecida, que consegue absorver a maior parte da demanda, e o segundo aspecto, de origem qualitativa, está relacionado à qualidade do ambiente educacional, que indica manter uma relação harmoniosa com o entorno.

Ao contrário, os estabelecimentos de ensino existentes localizados em espaços com valores de potencial altos possivelmente não estejam conseguindo atender toda a clientela compreendida pelo seu raio de abrangência, além de poderem estar expondo-a a desgastes significativos quando da realização do trajeto casa/escola. Conseqüentemente, a qualidade do ambiente educacional desses estabelecimentos pode estar comprometida pelos impactos causados em função da relação desarmônica com o entorno.

Dessa forma, um potencial alto registrado em um espaço que contém um estabelecimento de ensino pode ser tomado como um indicativo da necessidade de intervenção sobre esse estabelecimento. A natureza da intervenção irá variar de acordo com o fator que está provocando o baixo desempenho do espaço, podendo ser: a) uma ampliação das dependências do estabelecimento para otimizar o seu atendimento dentro da rede escolar; b) ações de melhoria sobre os espaços públicos do entorno visando amenizar os impactos causados sobre o ambiente educacional e sobre o acesso da clientela ao estabelecimento de ensino e; c) a desativação do estabelecimento caso se constate que qualquer das intervenções anteriores não seja viável física ou economicamente.

6.8.2 Potencial dos espaços para virem a abrigar um estabelecimento de ensino

Ao contrário do que ocorre para os espaços que já possuem um estabelecimento de ensino alocado neles, quanto maior o valor da medida de potencial P nos demais espaços do sistema, mais adequados eles serão para a localização de um novo estabelecimento de ensino.

Com isso, acredita-se que estabelecimentos de ensino que venham a ser construídos em espaços com um alto valor da medida de potencial estarão atendendo as áreas com maiores concentrações de demanda. Somado a isso, esses estabelecimentos oferecerão a seus usuários um ambiente educacional de qualidade e condições adequadas de acesso, garantindo a realização segura do trajeto casa/escola.

Por outro lado, os estabelecimentos de ensino que vierem a ser construídos em espaços com um baixo valor da medida de potencial atenderão áreas com baixa concentração de demanda. Essa situação pode produzir impactos que serão sentidos tanto pelo estabelecimento de ensino quanto pela clientela que o utilizará.

No primeiro caso, os reflexos do baixo potencial do espaço poderão ser vistos na condição de ociosidade em que o estabelecimento provavelmente funcionará, pelo fato de não possuir alunos em quantidade suficiente para ocupar todas as vagas que ele oferece. É importante salientar que existe uma capacidade mínima que justifica a construção de uma unidade escolar e que portanto mesmo que se tenha

conhecimento que no local escolhido para a implantação dessa unidade existe pouca demanda, a escola será construída com uma capacidade de atendimento superior ao necessário.

No segundo caso, as conseqüências do baixo potencial do espaço serão sentidas pela clientela, que em razão de encontrar-se dispersa ao longo da estrutura urbana se verá obrigada a percorrer longas distâncias para alcançar um estabelecimento de ensino.

Outra característica que os estabelecimentos de ensino que vierem a ser construídos em espaços com um baixo valor da medida de potencial poderão apresentar é manter uma relação desarmônica e desequilibrada com o entorno, cujas conseqüências já são sabidas.

Apesar das situações indesejáveis formadas quando um estabelecimento de ensino é implantado num espaço que apresenta baixo potencial, algumas vezes essa é uma decisão necessária. Um exemplo é quando os espaços com alto potencial se encontram concentrados em algumas áreas da estrutura urbana e os com baixo potencial em outras. Nesse caso, sabe-se que se terá que implantar um equipamento nas áreas onde os espaços apresentam baixo potencial, já que a clientela existente nessas áreas mesmo que dispersa e em baixa quantidade tem o mesmo direito de acesso à educação que qualquer outra.

Em situações como essas, os resultados do modelo podem servir como um indicativo de que nesses locais deverá haver uma preocupação em disponibilizar meios de transporte para a clientela que estiver localizada além do raio de abrangência do estabelecimento. Esse serviço deve ser oferecido preferencialmente sem acarretar despesas para os usuários, podendo ser custeado pela administração municipal, por parcerias com a iniciativa privada ou com outras esferas de governo.

6.8.3 Cobertura territorial da rede de estabelecimentos de ensino

Outro ponto que pode ser explorado através dos resultados do modelo é a cobertura territorial da rede de estabelecimentos de ensino. Essa informação pode ser interpretada recuperando diretamente do banco de dados do SIG e espacializando os espaços em que são atendidos por algum estabelecimento do sistema. Utilizando

as ferramentas do SIG, o comprimento dos espaços atendidos por algum estabelecimento de ensino pode ser somado, fornecendo a extensão da área de estudo que é coberta. Através das mesmas ferramentas, esse valor pode ser comparado com a extensão total dos espaços que compõem a estrutura urbana da área, revelando a porcentagem do sistema que é atendida pela cobertura espacial.

A partir dos espaços atendidos pela rede escolar, também é possível identificar os vazios de atendimento subtraindo esses espaços dos demais espaços que compõem o sistema. Pode-se procurar por padrões espaciais estabelecidos entre esses espaços desprovidos de cobertura educacional, buscando-se identificar se a sua ocorrência se dá ao redor de áreas de atendimento ou em áreas adjacentes à elas, por exemplo.

6.8.4 Sobreposição entre raios de abrangência de estabelecimentos de ensino

Os resultados do modelo também permitem identificar a existência de sobreposição entre raios de abrangência de estabelecimentos de ensino. A sobreposição pode ser evidenciada buscando-se no banco de dados do SDSS ou espacializando a informação sobre os espaços m que recebem atendimento de mais de um estabelecimento de ensino e que portanto possuem um valor maior que 1 no campo n que indica a quantidade de espaços que lhe oferecem serviço.

6.8.5 Estabelecimentos de ensino com raio de abrangência superior ao permitido

A informação sobre os estabelecimentos de ensino que estão recrutando clientela localizada além dos limites do raio de abrangência máximo estipulado para a rede escolar é obtida analisando-se a tabela ou espacializando-se os dados contidos no campo referente à oferta excedente oe_i . Os espaços que apresentarem valores de oe_i superiores a zero, possuem estabelecimentos de ensino que se encontram nessa situação.

Para os estabelecimentos de ensino localizados nesses espaços recomenda-se que sejam realizados estudos mais detalhados que apóiem a elaboração de projetos de transporte escolar para atender a clientela localizada fora dos limites do seu raio de abrangência.

6.9 Aplicação do modelo ao planejamento de redes de estabelecimentos de ensino

De maneira geral, o objetivo do planejamento educacional é estudar qual é a melhor forma de utilizar os meios educacionais para atingir os objetivos fixados pelo sistema político, que elabora os planos educacionais. Para isso, deve ser realizado um conjunto de atividades, como por exemplo: a) diagnosticar os sistemas educacionais; b) verificar a coerência e a viabilidade das metas definidas pelos planos educacionais, a partir da geração de cenários; c) testar os efeitos de políticas e metas sobre a rede educacional futura, também a partir da geração de cenários; d) elaborar projetos de investimentos, identificando as áreas prioritárias por melhorias na rede escolar, etc. (ARANTES, 1989).

Acredita-se que o modelo proposto neste trabalho pode ser uma ferramenta útil na realização de grande parte das ações de planejamento citadas acima, principalmente pelo fato de que ele integrará um sistema espacial de suporte à decisão (SDSS).

Este sistema, por sua vez, se revela especialmente importante na execução das seguintes etapas envolvidas no planejamento da rede de estabelecimentos educacionais: análise da situação atual, simulação do comportamento atual frente a alterações no sistema e simulação do comportamento futuro da rede de estabelecimentos de ensino.

6.9.1 Análise da situação atual da rede de estabelecimentos de ensino

Nessa etapa o modelo tem finalidade descritiva, na medida em que oferece um panorama da situação atual do sistema indicando o comportamento dos estabelecimentos da rede de ensino em termos da sua localização, da cobertura oferecida e da demanda existente pelo serviço.

Essa análise descritiva consiste no diagnóstico da rede de ensino e quando realizada utilizando o SDSS no qual o modelo proposto está inserido pode oferecer as seguintes informações básicas: sobre o cumprimento dos planos educacionais;

sobre a adequação da localização dos estabelecimentos de ensino e; sobre a adequação da capacidade de atendimento da rede de estabelecimentos de ensino.

No caso da investigação sobre o **cumprimento das políticas e metas dos planos educacionais**, as informações geradas pelo modelo sobre a cobertura territorial e quantitativa e sobre as taxas de atendimento e escolarização podem ser comparadas com os números definidos nos planos educacionais. As ferramentas do SDSS podem ser utilizadas inclusive para mapear as políticas e metas educacionais, permitindo a realização de um diagnóstico espacial sobre o comportamento da rede educacional frente às expectativas dos planos educacionais.

O resultado dessa análise pode indicar a necessidade de adaptações sobre os números definidos nos planos para que possam refletir melhor a realidade das redes educacionais, caso as diferenças encontradas sejam significativas. Outra possibilidade é que se revele a necessidade de intervenção sobre a rede educacional para que ela se adapte ao perfil colocado pelos planos. Essa adaptação pode estar relacionada à ampliação da cobertura da rede educacional e das taxas, através da construção de novas unidades ou à redistribuição espacial da rede visando melhorar a equidade do acesso à educação.

Com relação à **adequação da localização dos estabelecimentos de ensino**, as informações fornecidas pelo modelo podem indicar a necessidade de intervenção sobre a rede educacional. O tipo de intervenção irá depender da gravidade da situação locacional dos estabelecimentos, podendo requerer desde projetos de melhorias sobre o entorno até a desativação da unidade. Em situações como essas, nas quais a intuição e a experiência do planejador devem ser levados em conta na tomada de decisão o SDSS se torna extremamente útil, já que permite a incorporação desses elementos na realização das análises e como critérios de escolha entre alternativas.

E no que diz respeito à **adequação da capacidade de atendimento da rede de estabelecimentos de ensino**, as informações geradas pelo modelo podem novamente determinar a necessidade de ampliação, quando detectada uma demanda educacional excedente maior que zero. Os resultados do modelo para a medida de potencial de cada espaço podem ser encaradas como um indicativo dos

locais onde devem ser prioritariamente instalados os novos estabelecimentos de ensino. As ferramentas de análise do SDSS também podem ser utilizadas para cruzar as informações sobre terrenos disponíveis ou áreas sob legislação do Direito de Preempção com o potencial dos espaços para abrigar um estabelecimento de ensino. O resultado do cruzamento dessas informações pode servir como um dos critérios para a tomada de decisão quanto ao local de implantação de novas unidades educacionais, visto que a disponibilidade, as dimensões e o custo de terrenos são, na maioria das vezes, fatores determinantes na decisão das administrações municipais.

6.9.2 Simulação do comportamento atual da rede de estabelecimentos de ensino frente a alterações no sistema

Nesta situação, o modelo assume finalidade exploratória, realizando o teste de alternativas de ações sobre o comportamento atual dos estabelecimentos da rede de ensino em termos da sua localização, da cobertura oferecida e da demanda existente pelo serviço.

Dessa forma, o modelo pode oferecer informações sobre quais passariam a ser as áreas prioritárias para a implantação de novos estabelecimentos de ensino caso na área de estudos houvesse: a construção de x novas unidades; mudanças na distribuição espacial da demanda, causadas pela abertura de novos loteamentos ou conjuntos populares; projetos de ampliação da rede de infra-estrutura básica e do sistema viário; mudanças no zoneamento; instalação de atividades geradoras de impacto ambiental; alterações nos níveis de acessibilidade, etc.

O modelo também pode responder quais seriam as modificações sentidas na demanda e na cobertura educacional com a construção de novas unidades educacionais. Poder-se-ia avaliar qual seria a nova demanda excedente do sistema e qual a cobertura quantitativa e espacial resultante da ampliação da rede. Outro ponto que pode ser investigado é se os locais de implantação dessas novas unidades melhoram a distribuição espacial da rede e os níveis de equidade oferecidos.

As possibilidades de simulações que podem ser realizadas utilizando ferramentas como um SDSS são inúmeras. A sua execução dependerá basicamente da

disponibilidade de dados complementares aos utilizados pelo modelo e da compatibilidade entre eles. Dependendo do nível de detalhamento e de desagregação desses dados, o SDSS poderá simular planos, políticas e até projetos pontuais sobre a rede educacional.

6.9.3 Simulação do comportamento futuro da rede de estabelecimentos de ensino

Nesse caso, o modelo adquire finalidade preditiva, visto que busca reproduzir o comportamento do sistema num momento futuro. As contribuições do modelo e do SDSS são semelhantes às oferecidas quando da simulação do comportamento atual da rede de estabelecimentos de ensino, com a diferença que nesse caso os dados utilizados na realização das análises se referem a um estado futuro.

Esses dados podem ser provenientes da extrapolação de tendências atuais, no caso do comportamento da demanda, e de projetos, no caso da rede de estabelecimentos educacionais e dos espaços urbanos. É claro que quanto maior o nível de detalhamento dos dados, mais precisos serão os resultados oferecidos pelo modelo e mais bem sucedidas as ações empreendidas sobre a rede educacional com base nesses resultados.

6.10 Limitações do modelo

O fato do modelo de localização proposto neste trabalho se encontrar num estágio de desenvolvimento prematuro, de estruturação, faz com que não se possa emitir um parecer final e bem fundamentado sobre suas limitações. Estas só serão realmente conhecidas quando o modelo for implementado de fato em algum programa computacional e testado em aplicações práticas.

Dessa forma, os itens que seguem apresentam apenas limitações relacionadas com a implementação e operacionalização do modelo, percebidas durante a modelagem conceitual da ferramenta. No entanto, sabe-se que os aspectos apresentados a seguir não possuem caráter definitivo e que nem mesmo encerram a lista de limitações do modelo. Ao contrário, eles representam apenas as dificuldades e restrições iniciais encontradas no desenvolvimento de uma nova ferramenta de análise urbana.

6.10.1 Incomparabilidade entre resultados de sistemas diferentes

No formato em que se encontra estruturado, o modelo não possui condições de estabelecer um comparativo entre sistemas diferentes tomando por base os valores obtidos para a medida de potencial gerada. Isso porque os valores obtidos para a medida de potencial são proporcionais à quantidade de demanda e de tensão existentes no sistema.

Assim, pode ocorrer que em uma área urbana os maiores valores encontrados para a medida de potencial sejam muito mais elevados que os maiores valores encontrados para a mesma medida em outras áreas. Portanto, esse resultado não significa necessariamente que os espaços pertencentes às outras áreas não possuam tanto ou maior potencial que os da referida área quando analisados de acordo com as características que o seu sistema possui.

6.10.2 Necessidade de dados desagregados

Como já comentado anteriormente existe pouca disponibilidade no mercado de dados socioeconômicos, demográficos e sobre a estrutura urbana desagregados ao nível do trecho de logradouro como requer o modelo proposto neste trabalho.

Apesar da unidade de coleta de dados socioeconômicos e demográficos ser normalmente o domicílio, a unidade de análise espacial que reúne os dados no seu formato final normalmente acaba sendo um setor ou zona de grande extensão. Isso ocorre porque as pesquisas que coletam dados dessa natureza são amostrais, e sendo assim não cobrem a totalidade dos domicílios existentes nas áreas de estudo. Dessa forma é necessário recorrer a um tratamento estatístico e a agregação dos dados em uma unidade de análise maior para a qual eles sejam representativos.

Para que a unidade de análise de dados socioeconômicos e demográficos seja o trecho de logradouro, a pesquisa deve abranger todo o universo, nesse caso todos os domicílios da área de estudo. Um trabalho como esse envolve a utilização de recursos humanos e materiais de custo extremamente elevado, visto que são necessários uma equipe de entrevistadores capacitada e bem equipada, recursos tecnológicos avançados para o processamento e armazenamento dos dados coletados e uma equipe técnica gabaritada para conduzir o processo.

Diante disso, é praticamente inevitável que as informações produzidas segundo esse processo cheguem ao mercado com preços exorbitantes e inacessíveis para a maioria dos usuários desse tipo de produto.

Uma alternativa a esse problema é desagregar os resultados do cálculo da demanda no SIG. No entanto, se por um lado a desagregação barateia o custo dos dados necessários à operacionalização do modelo, por outro ela pode incorrer em distorções de proporções desconhecidas sobre os resultados oferecidos por ele.

Logo, a forma como será tratado o problema da desagregação quando da escolha do uso do modelo em uma aplicação prática é uma importante consideração a ser feita. Essa é uma decisão que estará quase sempre relacionada com a quantidade de recursos disponíveis para a realização da aplicação e que deve ter seus prós e contras analisados antes do início da aplicação.

6.10.3 Necessidade da aplicação de uma metodologia multicritério para a determinação da tensão dos espaços públicos

A aplicação de uma metodologia multicritério como a MCDA exige a contratação de profissionais especializados, que possuam conhecimentos específicos de como conduzir um processo de apoio à decisão. Esses profissionais possuem habilidades para garantir a participação dos envolvidos do início ao fim, captar os interesses dos decisores com o mínimo de interferência possível do seu juízo de valor e garantir que não haja perda de legitimidade. Por isso, esse é normalmente um trabalho de custo elevado, principalmente se comparado com os custos envolvidos no processo de incorporação dos critérios utilizados pelos modelos tradicionais.

O processo de apoio à decisão realizado com a aplicação da metodologia MCDA é trabalhoso, demorado, exige dos envolvidos um grande período de tempo disponível, principalmente nas primeiras etapas, e mais do que isso, requer o seu envolvimento.

Além do custo, os aspectos apresentados acima podem representar a inviabilidade da aplicação da metodologia MCDA em determinadas instituições, principalmente prefeituras. Isso, porque muitas vezes a cultura e as regras de funcionamento da instituição não permitem que funcionários deixem de se dedicar por determinado

tempo com exclusividade a suas atribuições ou porque não há no ambiente o interesses dos funcionários em se dedicarem a esse tipo de tarefa.

7 Conclusões

7.1 Quanto à incorporação da metodologia MCDA no apoio à decisão locacional

Do ponto de vista teórico, esta é uma união promissora por dois motivos principais: pelo fato da metodologia MCDA ser capaz de amenizar a racionalidade que cerca tanto o processo de construção quanto a aplicação prática de modelos de localização e; pelo fato do modelo se tornar mais flexível em relação aos dados necessários a sua alimentação.

Com relação ao primeiro aspecto, a utilização da metodologia MCDA, mesmo que na geração dos dados para a alimentação do modelo, permite incorporar as especificidades do local e o juízo de valor de vários envolvidos na questão da localização de estabelecimentos de ensino, sob diferentes aspectos. Dessa forma a decisão sobre a melhor localização é tomada não só com base em critérios racionais de otimização, mas também considerando aspectos subjetivos importantes para os envolvidos na questão locacional.

Disso pode surgir uma consequência bastante positiva que é o fato do planejador ou outros usuários do modelo se identificarem com os resultados fornecidos por ele. Acredita-se que com isso, eles se sentirão mais seguros e a vontade para basear sua decisão com relação às ações a serem empreendidas sobre a rede educacional e também a elaboração dos projetos que as executarão nos resultados gerados pelo modelo.

No que diz respeito ao segundo aspecto, a aplicação da metodologia MCDA na avaliação do comportamento dos espaços públicos em relação à localização de estabelecimentos de ensino torna o modelo mais flexível, na medida em que a definição dos critérios e a forma de avaliá-los pode ser adaptada à disponibilidade e às condições de acesso aos dados para cada aplicação. Essa capacidade permite superar um problema bastante comum quando da aplicação de modelos na realização de análises urbanas, que é a adaptação do modelo, principalmente em termos de dados, à realidade da área de estudo.

Ela pode ser uma solução interessante para o problema chamado por Douglas Lee (1972) de “fome de dados” que se manifesta na maior parte dos modelos urbanos, relacionado com a descomunal quantidade e variedade de dados necessários para operacionalizá-los. Dessa forma, a metodologia MCDA pode funcionar como um “moderador” da “fome de dados” do modelo proposto, diminuindo seu apetite naquelas ocasiões onde a quantidade de dados for limitada, sem, no entanto, inviabilizar a sua aplicação.

Além disso, o fato dos usuários dessa ferramenta terem a oportunidade de participar do processo de confecção dos dados que alimentarão o modelo, normalmente aumenta o comprometido e a responsabilidade dessas pessoas pela realização da análise e pelas consequências de seus resultados. Com isso, os técnicos que decidem sobre a distribuição da rede de estabelecimentos de ensino na estrutura urbana podem se sentir estimulados a adotar procedimentos formais realizados através de um modelo de localização flexível às suas necessidades.

7.2 Quanto à base de operacionalização do modelo

A união entre o modelo proposto e um SIG será extremamente vantajosa tanto do ponto de vista operacional quanto da qualidade das análises produzidas.

A vinculação forte entre o modelo e o SIG fará com que o modelo seja operado exclusivamente através da interface do SIG, que se torna cada dia mais amigável em termos de recursos gráficos e da forma intuitiva de guiar o usuário na realização de operações. Com isso, espera-se estar dando um passo para que se alcance uma maior penetração dos modelos urbanos na prática do planejamento.

Outra expectativa em relação à vinculação forte entre o modelo e o SIG é que se consiga uma maior consistência dos dados utilizados, na medida que não se fará necessária a conversão de formatos de arquivos no processo de importação/exportação de dados como no caso da vinculação fraca. Nesse caso a estrutura dos dados será uma só, definida pelo DBMS do SIG. Dessa forma, os trabalhos de compatibilização e edição de bases de dados serão sensivelmente diminuídos.

Já com relação aos aspectos analíticos, espera-se verificar as vantagens enumeradas no item 4.4.3.1 - Vantagens dos SDSS em relação ao uso isolado de SIGs e de modelos.

7.3 Quanto às implicações do trabalho sobre o planejamento locacional de serviços

A união de modelos e SIG para formar ferramentas de apoio à decisão e ao planejamento urbano é uma forte tendência. Esse tipo de ferramenta proporciona integração entre os diversos setores do planejamento principalmente através do intercâmbio de informações. A integração é importante pelo fato de que as atividades desenvolvidas por setores específicos do planejamento, como é o caso da localização de equipamentos urbanos, normalmente se encontram relacionadas com as ações praticadas por vários outros setores.

Espera-se com este trabalho estar dando um primeiro passo para que num futuro próximo possa-se disponibilizar aos planejadores um SDSS que, por sua facilidade e

praticidade, motive tais profissionais a aderirem definitivamente ao uso de uma ferramenta que realize análises embasadas em critérios técnicos para a tomada de decisão sobre a localização de equipamentos educacionais.

Com isso, busca-se com o tempo alcançar uma melhora nas condições dos serviços oferecidos por esses estabelecimentos, principalmente do ponto de vista dos usuários, e diminuir os conflitos resultantes da localização indiscriminada de equipamentos na estrutura urbana.

Quanto à aplicação prática da ferramenta proposta, espera-se poder produzir uma base cartográfica e um banco de dados de qualidade, capazes de oferecer resposta a todas as etapas do planejamento da rede de equipamentos públicos educacionais. A partir dos recursos de análise e visualização do SDSS pretende-se oferecer aos técnicos respostas claras, seja por meio de mapas temáticos, gráficos ou tabelas, que facilitem o entendimento e motivem a sua participação no processo de planejamento.

7.4 Os próximos passos: recomendações para trabalhos futuros

Este trabalho é o primeiro passo de muitos outros que devem ser dados na direção de construir um Sistema Espacial de Suporte à Decisão (SDSS) voltado para o planejamento de redes de estabelecimentos de ensino.

Aqui foi desenvolvido e estruturado um modelo de localização de estabelecimentos de ensino de forma que a sua implementação em um SIG venha a resultar no SDSS mencionado acima.

Um dos passos mais imediatos a serem realizados na direção da concretização do objetivo colocado acima diz respeito à **implementação do modelo em um SIG**. Um possível trabalho realizado nesse sentido poderia testar a validade do algoritmo proposto para implementar o modelo, as dificuldades de programar o algoritmo diretamente no SIG impostas pela vinculação forte, entre outros aspectos operacionais.

Depois do modelo implementado, trabalhos poderiam ser realizados no sentido de **testar o comportamento do modelo em aplicações práticas**, investigando até que

ponto os resultados que este trabalho espera sejam alcançados realmente podem ser e, comparando esses resultados com os de outros modelo de localização mais tradicionais.

Outro aspecto a ser explorado diz respeito à **calibração do modelo**. Trabalhos utilizando aplicações práticas do modelo, quando estas existirem, podem se dedicar a determinar um método de calibração do modelo, de forma que se consiga um grau satisfatório de correspondência com a realidade.

E finalmente outro passo que parece imediato é a **determinação de uma forma de avaliar a validade dos resultados**, buscando identificar variáveis que possuam correlação com o potencial dos espaços públicos para abrigarem um estabelecimento de ensino. O objetivo de um trabalho realizado nessa direção seria identificar essas variáveis e realizar testes estatísticos buscando estabelecer um grau de correlação entre elas e a medida do modelo.

As possibilidades de trabalhos posteriores apresentadas acima são apenas uma mostra do que pode ser feito em curto prazo e de maneira alguma encerram os desdobramentos desta pesquisa, que espera-se sejam inesgotáveis.

Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, L. M. W. **Desenvolvimento de uma metodologia para análise locacional de sistemas educacionais usando modelos de interação espacial e indicadores de acessibilidade**. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.
- ARANTES, C.O. **Planejamento de redes escolares: questões teóricas e metodológicas**. Ministério da Educação, Centro de Desenvolvimento e Apoio Técnico à Educação. Brasília, 1986.
- ARANTES, C. O. **Planejamento educacional e planejamento de redes escolares: o caso brasileiro**. 1989. Monografia (Curso de Formação Avançada em Planejamento e Administração Educacional) - Instituto Internacional de Planejamento da Educação (IIPE), Paris, 1989.
- ARANTES, C.O. **Metodologia para mapeamento e reordenamento de redes escolares de Rondônia**. Brasília, 2001.

- ARANTES, C.O. **Metodologia para macroplanejamento de rede escolar urbana de ensino fundamental**. Brasília, 2002.
- ARANTES, C.O. **A cobertura e a demanda do ensino médio**. Brasília, 2003.
- ARMSTRONG, M. P. et al. A knowledge-based approach for supporting locational decisionmaking. **Environment and Planning B**, v. 17, p. 341 - 364, 1990.
- AYENI, B. The design of spatial decision support systems in urban and regional planning. In: TIMMERMANS, H. **Decision support systems in urban planning**. London: E & F N Spon, 1997.
- BANA e COSTA, C. A. Três convicções fundamentais na prática do apoio à decisão. **Pesquisa Operacional**, v. 13, n. 1, p. 9 – 20, 1993.
- de la BARRA, T. Integrating micro-economic models with spatial interaction theory. In: STEADMAN. **Transactions of the Martin Centre for Architectural and Urban Studies**. London: University of Cambridge, 1979.
- BASTOS, L. C. **Planejamento da rede escolar: uma abordagem utilizando preferência declarada**. 1994. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1994.
- BATTY, M. Urban Modelling in Computer-Graphic and Geographic Information System. **Environment and Planning B**, v. 19, p. 663 - 688, 1992.
- BATTY, M.; DENSHAM, P.J. Decision support, GIS, and urban planning. **Systema Terra**, v. 1, pp. 72-76, 1996.
- BENNETT, D. A. A framework for the integration of geographical information systems and modelbase management. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 11, n. 4, p. 337 - 357, 1997.
- BERTUGLIA, C. S. et al. An historical review of approaches to urban modelling. In: BERTUGLIA, C S; WILSON, A G. **Urban Systems**. London: Croom Helm, 1987.
- BLACHUT, T. J. Cadastre as a basis of a general land inventory of the country. In: BLACHUT, T. J.; et al. **Cadastre: various functions characteristics**

techniques and the planning of land record sistem. Canadá: National Council, 1974.

BLACHUT, T. J.; CHRZANOWSKI, A.; SAASTAMOINEN, J. **Cartografía e levantamientos urbanos.** México: Dirección general de Geografía del Territorio Nacional, 1980.

BRANDÃO, C. F. **LDB: passo a passo: lei de diretrizes e bases da educação nacional (Lei nº 9.394/96), comentada e interpretada artigo por artigo.** São Paulo: Avercamp, 2003.

BRASIL. **Estatuto da Cidade: guia para implementação pelos municípios e cidadãos.** Lei nº 10.257 de 10 de julho de 2001, que estabelece diretrizes gerais da política urbana. Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 2001.

BRASIL. **Ensino Fundamental de nove anos: orientações gerais.** Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica. Brasília, 2004.

BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional.** Lei nº 9.394 de 20 de dezembro de 1996. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9394.htm>. Acesso em: 26 de novembro de 2004.

BURROUGH, P. A. **Principles of Geographical Information Systems for land resources assessment.** Oxford: Claredon Press, 1986.

CALIFORNIA DEPARTMENT OF EDUCATION. **Guide to school site analysis and development.** School Facilities Planning Division, Sacramento, 2000. Disponível em: <<http://www.cde.ca.gov/facilities/sfpdpublications.htm>>. Acesso em: 17 de fevereiro de 2004.

CAMPOS FILHO, C. M. **Reinvente seu bairro: caminhos para você participar do planejamento de sua cidade.** São Paulo: Editora 34, 2003.

COUCLELIS, H. Requirements for planning-relevant GIS: a spatial perspective. **Papers in Regional Science**, v. 70, n. 1, p. 9 - 19, 1991.

- DRUMMOND, W. J. Address Matching. **Journal of the American Planning Association**, v. 61, n. 2, p. 240 - 251, 1995.
- ECHENIQUE, M. Models: a discussion. In: MARTIN, L; MARCH, L. **Urban space and structures**. Cambridge: Cambridge University Press, 1972.
- ECHENIQUE, M. El concepto de sistemas, modelos y teorías en los estudios urbanos. In: **Modelos matemáticos de la estructura urbana**. Buenos Aires: SIAP, 1976.
- ENSSLIN, S. R. **A incorporação da perspectiva sistêmico-sinérgica na metodologia MCDA- Construtivista: uma ilustração de implementação**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- ENSSLIN, L.; MONTIBELLER NETO, G.; NORONHA, S. M. **Apoio à decisão - Metodologia para Estruturação de Problemas e Avaliação Multicritério de Alternativas**. Florianópolis: Insular, 2001.
- FERLAND, J. A.; GUÉNETTE, G. Decision support system for the school districting problem. **Operations Research**, v. 38, n. 1, p. 15 - 21, 1990.
- GEERTMAN, S.; STILLWELL, J. Planning Support Systems: an introduction. In: GEERTMAN, S.; STILLWELL, J. **Planning support systems in practice**. Berlin: Springer, 2004.
- GEORGIA DEPARTMENT OF EDUCATION. **A guide to school site selection**. Georgia Department of Education, Atlanta, 2003.
- GOODCHILD, M. F.; HAINING, R. P. GIS and spatial data analysis: converging perspectives. **Papers in Regional Science**, v. 83, p. 363 - 385, 2004.
- GUIMARÃES, P. P. **Configuração urbana: evolução, avaliação, planejamento e urbanização**. São Paulo: ProLivros, 2004.
- GUTIÉRREZ, J.; MONZÓN, A.; PIÑERO, J. M. Accessibility. Network efficiency, and transport infrastructure planning. **Environment and Planning A**, v. 30, p. 1337 - 1350, 1998.

- HARRIS, B. Beyond geographic information systems. **Journal of the American Planning Association**, v. 55, n. 1, p. 85 - 90, 1989.
- HARRIS, B.; BATTY, M. **Locational models, geographic information, and planning support systems**. Technical Paper 92-1, National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA), 1992.
- HEIKKILA, E. J. GIS is dead; long live GIS! **Journal of the American Planning Association**, v. 64, n. 3, p. 350 - 360, 1998.
- HILLIER, B. et al. Natural movement: or, configuration end attraction in urban pedestrian movement. **Environment and Planning B**, v. 20, p. 29 - 66, 1993.
- HILLIER, B.; HANSON, J. **The social logic of space**. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.
- IBGE. **Censo Demográfico 2000: Educação, Resultados da Amostra**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Rio de Janeiro, 2003.
- IBGE. **Projeção da população do Brasil por sexo e Idade para o período 1980-2050, Estimativas anuais da população do Brasil e das Unidades da Federação: 1980 – 2020, Estimativas mensais da população do Brasil e das Unidades da Federação: 1991-2010, Estimativas das populações municipais - Revisão 2004: Resumo da Metodologia**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 14 de setembro de 2004.
- JIANG B.; CLARAMUNT C.; BATTY, M. Geometric accessibility and geographic information: extending desktop GIS to Space Syntax. **Computers Environment and Urban Systems**, v. 23, p. 127–146. Disponível em: <<http://www.hig.se/%7Ebjg/Publications.htm>> . Acesso: 13 de abril de 2002.
- JONES, S.; MARTIN, A. **Siting a public school facility in Scarborough, Ontario, using a GIS-based decision making model**. 2003. Disponível em: <http://www.uoguelph.ca/geography/research/geog4480_w2003/group20>. Acesso em: 25 de agosto de 2004.

- KARIMI, H. A.; HOUSTON, B. H. Evaluating Strategies for integrating environmental models with GIS: current trends and future needs. **Computer, Environment and Urban Systems**, v. 20, n. 6, p. 413 - 425, 1996.
- KLOSTERMAN, R. E. Planning Support Systems: a new perspective on computer-aided planning. In: BRAIL, R. K.; KLOSTERMAN, R. E. **Planning Support Systems: integrating geographic information systems, models, and visualization tools**. California: ESRI, 2001.
- KRAFTA, R. Modelling intraurban configurational development. **Environment and Planning B**, v. 21, p. 67 - 82, 1994.
- LANDIS, J.; ZHANG, M. The second generation of California urban futures model: Part 1: Model logic and theory. **Environment and Planning B**, v. 30, p. 657 - 666, 1998.
- LEE, C. The Role of Models in the Planning Process. In: **Models in planning: an introduction to the use of quantitative models in planning**. Oxford: Pergamon Press, 1973.
- LEE, D. B. Requiem for Large-Scale Models. **Journal of the American Institute of Planners**, v. 39, p.163-178, 1973.
- LOBO, D. S. **Dimensinamento e otimização locacional de unidades de educação infantil**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- MACKIEWICZ, A.; RATAJCZACK, W. Towards a new definition of topological accessibility. **Transportation Research B**, v. 30, n. 1, p. 47 - 49, 1994.
- MAGUIRE, D. J. An overview and definition of GIS. In: MAGUIRE, D J; GOODCHILD, Michael F.; RHIND, D W. **Geographical information systems: principles and applications**. London: Longmans, 1991.
- MAGUIRE, D. J.; DANGERMOND, J. The functionality of GIS. In: MAGUIRE, D J; GOODCHILD, M. F.; RHIND, D. W. **Geographical information systems: principles and applications**. London: Longmans, 1991.

- MALCZEWSKI, J. **Spatial Decision Support Systems** . Unit 127 - NCGIA Core Curriculum in Geographic Information Science, National Center for Geographic Information and Analysis. 1997. Disponível em: <<http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units /u127/u127.html>>. Acesso em: 8 de agosto de 2004.
- MARTIN, L.; MARCH, L.; ECHENIQUE, M. Models: a discussion. In: ECHENIQUE, Marcial. **Urban space and structures**. Londres: Cambridge University Press, 1972.
- MCLOUGHLIN, J. B. Location Theory: a foundation for planning. In: **Urban and Regional Planning: a systems approach**. New York: Praeger Publishers, 1969.
- MONTIBELLER NETO, G. **Mapas Cognitivos: Uma Ferramenta de Apoio à Estruturação de Problemas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.
- MORRIS, J. M.; DUMBLE, P. L.; WIGAN, R. Accessibility indicators for transport planning. **Transportation Research - A**, v. 13, p. 91 - 109, 1979.
- NICÁCIO, J.; LOCH, C. Elementos necessários para o planejamento da sustentabilidade dos municípios de médio e pequeno porte. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário (COBRAC), 5, 2002, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2002. CD-ROM.
- NORONHA, S. M. D. **Heurística para decisões em grupo utilizando modelos multicritério de apoio à decisão - uma abordagem construtivista**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- NOVAES, A. G. **Modelos em planejamento urbano, regional e de transportes**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1982.
- NYERGES, T. L. Geographic information abstractions: conceptual clarity for geographic modeling. **Environment and Planning B**, v. 23, p. 1483 - 1499, 1991.

- OLIVEIRA, D. A.; DUARTE, M. R. T. A. Políticas e administração da educação: um estudo de algumas reformas recentes implementadas no estado de Minas Gerais. **Educação & Sociedade**, ano XVIII, n. 58, p. 123-141, 1997.
- OLIVEIRA, J. B. A. Desigualdades e políticas compensatórias. In: SCHWARTZMAN, S.; BROCK, C. (orgs.). **Os desafios da educação no Brasil**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2005.
- OPENSHAW, S. Developing appropriate spatial analysis methods for GIS. In: MAGUIRE, D J; GOODCHILD, M. F.; RHIND, D W. **Geographical information systems: principles and applications**. London: Longmans, 1991.
- PENN, A.; et al. Configurational modeling of urban movement networks. **Environment and Planning B**, v. 25, p. 59 - 84, 1998.
- PETRI, S. M. **Construção de um Modelo de Avaliação de Desempenho em uma Prestadora de Serviços Contábeis para Identificar Oportunidades de Melhorias utilizando a Metodologia MCDA**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000..
- PETTIT, C.; PULLAR, D. An integrated planning tool based upon multiple criteria evaluation of spatial information. **Computer, Environment and Urban Systems**, v. 23, p. 339 - 357, 1999.
- PINHEIRO, M. B. Mobilidade urbana e qualidade de vida: conceituações. In: Congresso de pesquisa e ensino em transportes (ANPET), VIII, 1994, Recife. **Anais...** Recife:MDUDE/UFPE, 1994. p. 405 - 414.
- PIZZOLATO, N. D.; SILVA, H. B. F. Proposta metodológica de localização de escolas: estudo de caso de Nova Iguaçu. **Pesquisa Operacional**, v. 14, n. 2, p. 1 - 14, 1993.
- RAIA JR, A. A.; SILVA, A. N. R.; BOCANEGRA, C. W. R. Comparação entre medidas de acessibilidade para aplicação em cidades brasileiras de médio porte. In: Congresso de pesquisa e ensino em transporte (ANPET), XI, 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: PUC, 1997. p. 253 – 261.

- RAMÍREZ, L.; SENDRA, J. B. Localización de hospitales: analogías y diferencias del uso del modelo p-mediano en SIG raster y vectorial. In: **Anales de Geografía de la Universidad Complutense**, v. 21, p. 53 - 79, 2001.
- RIBEIRO, A.; ANTUNES, A. P. A GIS-based decision-support tool for public facility palnning. **Environment and Planning B**, v. 29, p. 553 - 569, 2002.
- ROY, B. Decision science or decision-aid science? **European Journal of Operational Research**, v. 66, p. 184 - 203, 1993.
- ROY, B. **Multicriteria Methodology for Decision Aiding**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996.
- SABOYA, R. T. **Centralidade espacial Uma nova operacionalização do modelo baseada em um Sistema de Informações Geográficas**. 2001. Dissertação (Mestrado em Planejamento Regional e Urbano) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- SABOYA, R. T. De Sistemas de Informações Geográficas a Sistemas de Suporte ao Planejamento: uma evolução necessária. **Revista Ensaio Ciências**, ISSN 1415-6938, 2003.
- SALES FILHO, L. H. Indicadores de acessibilidade: Alguns aprimoramentos analíticos e seu uso na avaliação de redes estruturais de transporte urbano. In: Congresso de pesquisa e ensino em transporte (ANPET), XI, 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: PUC, 1997. p. 985 – 995.
- SANNEMANN, G. D. R. **Uso da metodologia MCDA na avaliação sistêmica das organizações: Um estudo da viabilidade e limitações da aplicação da metodologia neste tipo de avaliação** . 2001. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
- SAVIANI, D. Sistemas de ensino e planos de educação: o âmbito dos municípios. **Educação & Sociedade**, ano XX, n. 69, p. 119-136, 1999.

- SCHWARTZMAN, S. Os desafios da educação no Brasil. In: SCHWARTZMAN, S.; BROCK, C. (orgs.). **Os desafios da educação no Brasil**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2005.
- SOARES, J. F. Qualidade e equidade na educação básica brasileira: fatos e possibilidades. In: SCHWARTZMAN, S.; BROCK, C. (orgs.). **Os desafios da educação no Brasil**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2005.
- SOUZA, M. L. **Mudar a cidade: uma introdução crítica ao planejamento e à gestão urbanos**. Rio de Janeiro: Bertrand, 2003.
- SUI, D. Z. GIS-based urban modelling: practices, problems, and prospects. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 12, n. 7, p. 651 - 671, 1998.
- TALEN, E. School, community, and spatial equity: an empirical investigation of access to elementary schools in West Virginia. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 91, n. 3, p. 465 - 486, 2001.
- TORRENS, P. M. **How Land-Use-Transportation Models Work**. Technical Paper 20, National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA). 2000. Disponível em: <http://www.casa.ucl.ac.uk/working_papers.htm>. Acesso em: 21 de outubro de 2004.
- U. S. CENSUS BUREAU. 1999. TIGER/Line Files Technical Documentation. Washington, DC. 1999.
- VARELA, G. C. Sintaxe Espacial – Uma nova abordagem para o entendimento das relações entre configuração espacial, transportes e uso do solo. In: Congresso de pesquisa e ensino em transporte (ANPET), VII, 1993, São Paulo. **Anais...** São Paulo: POLI/USP, 1993. p. 68 - 79.
- WEBSTER, C. J. GIS and the scientific inputs to urban planning. Part 1: description. **Environment and Planning B**, v. 20, p. 709 - 728, 1993.
- WEBSTER, C. J. GIS and the scientific inputs to planning. Part 2: prediction and prescription. **Environment and Planning B**, v. 21, p. 145 - 157, 1994.

- WEGENER, M. Operational Urban Models: State of the Art. **Journal of the American Planning Association**, v. 60, p. 17 - 28, 1994.
- WEGENER, M. GIS and spatial planning. **Environment and Planning B**, v. Anniversary issue, p. 48 - 52, 1998.
- WILSON, A. G. Models in Urban Planning: A Synoptic Review of Recent Literature. In: WILSON, A. G. (Ed.) **Papers in Urban and Regional Analysis**. Londres: Pion, 1972.
- WILSON, A. G. **Urban & regional models in geography & planning**. London: John Wiley & Sons, 1974.
- YATES, P. M.; BISHOP, I. D. The integration of existing GIS and modelling systems: with urban applications. **Environment and Planning B**, v. 22, n. 1, p. 71 - 80, 1998.
- YEH, A. G. O.; CHOW, M. H. An integrated GIS and Location-Allocation approach to public facilities planning - an example of open space planning. **Computer, Environment and Urban Systems**, v. 20, n. 4/5, p. 339 - 350, 1997.
- YEUNG, A. K. **Information organization and data structure**. Unit 51 - NCGIA Core Curriculum in Geographic Information Science, National Center for Geographic Information and Analysis. 1998. Disponível em: <<http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u051/u051.html>>. Acesso em: 11 de agosto de 2004.
- ZANELLA, I. J. **As problemáticas técnicas no apoio à decisão em um estudo de caso de sistemas de telefonia móvel celular**. 1996. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.